

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-009004

(43)Date of publication of application : 11.01.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

H01L 33/00

H01S 5/223

H01S 5/343

(21)Application number : 2000-347669

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 15.11.2000

(72)Inventor : KIDOGUCHI ISAO
ISHIBASHI AKIHIKO
SUGAWARA TAKESHI
TSUJIMURA AYUMI
BAN YUZABURO
SUZUKI MASAKATSU
KUME MASAHIRO
MIYANAGA RYOKO
MORITA KIYOYUKI
HASEGAWA YOSHITERU

(30)Priority

Priority number : 11324010

Priority date : 15.11.1999

Priority country : JP

11367169

24.12.1999

JP

11369834

27.12.1999

JP

2000018407

27.01.2000

JP

2000025931

03.02.2000

JP

2000048824

25.02.2000

JP

2000120760

21.04.2000

JP

2000120761

21.04.2000

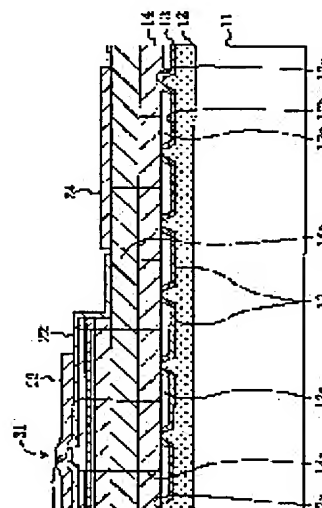
JP

(54) METHOD OF MANUFACTURING NITRIDE SEMICONDUCTOR, NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve a nitride semiconductor formed through an ELOG method in crystallinity, to enable a resonator to have a large light confining coefficient, to form the resonator whose edge face is reduced in mirror loss, and to easily align a mask for forming a ridge.

SOLUTION: A GaN seed layer 12 for ELOG is formed on a sapphire substrate 11 through the intermediary of a low-temperature GaN buffer layer, and stripe-shaped protuberant parts 12a extending in the plane direction of the substrate and separating from one another by a certain space are provided to the upper part of the GaN seed layer 12. In succession, a silicon nitride film 13 is



formed on the bases and wall surfaces of recessed parts 12b each interposed between the protuberant parts 12a, and then a GaN selection growth layer 14 is formed above the seed layer 12, coming into contact with the protuberant parts 12a so as to form air gaps between its under surface and the bases of the recessed parts 12b.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3571641

[Date of registration] 02.07.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

- 【請求項18】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項17に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項19】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、
前記溝部の底面とその両面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部における前記各溝部同士の間、前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、
前記積層体の上部に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項20】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層を覆うストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、
前記レジストマスクを形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項21】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項22】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項23】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項24】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項25】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項26】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項25に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項27】 基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、
前記基板の上部の凸部の頂面に、Al_xGa_{1-x}In_{1-y}As_{1-z}（但し、x, y, zは、0 ≤ x, y, z ≤ 1, x + y + z = 1である。）からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。
- 【請求項28】 前記基板は窒化物半導体からなり、
前記凸部を形成する工程と前記窒化物半導体層を成長する工程との間に、
互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆う、誘電体、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなるマスク膜を形成する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項27に記載の窒化物半導体の製造方法。
- 【請求項29】 基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部の溝部に窒化物半導体層を形成する工程と、
前記基板の上部における前記各溝部同士の間、該第1の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第2の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第3の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、
前記積層体の上部に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項30】 前記積層体を成長する工程は、前記溝部の底面及び壁面と、前記積層体における前記溝部の対向面により囲まれてなる複数の空腔部を形成する工程を含むことを特徴とする請求項29に記載の半導体素子の製造方法。
- 【請求項31】 前記積層体を成長する工程は、前記積層体を前記基板上にパップアゲを介在させることなく成長させ、前記積層体の上部に、前記積層体を形成する工程を含むことを特徴とする請求項29に記載の半導体素子の製造方法。
- 【請求項32】 基板上に順次形成され、第1の窒化物半導体層、該第1の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第2の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第3の窒化物半導体層を含む積層体と、
前記積層体の上部に形成され、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流装置部とを備え、
前記活性層における前記電流装置部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空腔部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。
- 【請求項33】 前記空腔部の上部には、前記第1の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ第4の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする請求項32に記載の窒化物半導体素子。
- 【請求項34】 基板上に形成され、上部に互いに間隔

- をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、下面が前記凸部の頂面と接するように形成された第2の窒化物半導体層と、
前記第2の窒化物半導体層の上部に形成され、第3の窒化物半導体層、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層を含む積層体とを備え、
前記第2の窒化物半導体層は、前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つことを特徴とする窒化物半導体素子。
- 【請求項35】 前記凸部同士の間、前記第2の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい屈折率を持つ低屈折率領域を有していることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。
- 【請求項36】 前記低屈折率領域は空腔部であることと特徴とする請求項35に記載の窒化物半導体素子。
- 【請求項37】 前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に形成され、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有し、
上面が電極と被覆する第6の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。
- 【請求項38】 前記第2の窒化物半導体層は組成にアルミニウムを含んでおり、
前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層の間に前記凸部の頂面とその近傍との間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、
前記第8の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項39】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、
前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部における前記各溝部同士の間、前記マスク膜から露出するC面を種結晶とし、
基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、
前記積層体の上部に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備え、
前記積層体における前記電流装置部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空腔部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

- 【請求項40】 前記積層体を成長する工程は、
前記第2の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、
前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項41】 前記積層体を成長する工程は、
前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第6の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項42】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層を覆うストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、
前記レジストマスクを形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項43】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項44】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項45】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項46】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項47】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項48】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項47に記載の窒化物半導体素子の製造方法。
- 【請求項49】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成

化物半導体素子の製造方法。

【請求項 55】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 53 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 56】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 53 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 57】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 49 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 58】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 57 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 59】 基板上に、 $AluGa_vIn_xN$ (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u+v+w=1$ である。) からなる第 1 の酸化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、前記マスク膜から露出する前記各凸部の頂面である C 面を種結晶として、 $AlGa_vIn_xN$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$ である。) からなる複数の第 2 の酸化物半導体層を成長する工程とを備え、

前記複数の第 2 の酸化物半導体層を形成する工程は、前記第 2 の酸化物半導体層を、各第 2 の酸化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体の製造方法。

【請求項 60】 前記側面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 59 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 61】 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側面が露出する領域が前記側面が露出しない領域と比べて大きくなくなるように形成する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体の製造方法。

【請求項 62】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 59 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 63】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 62 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 64】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 63 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 65】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 64 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 66】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 65 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 67】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 66 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 68】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 67 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 69】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 68 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 64】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 59 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 65】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 64 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 66】 基板上に、 $AluGa_vIn_xN$ (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u+v+w=1$ である。) からなる第 1 の酸化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、前記各凸部における前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、 $AlGa_vIn_xN$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$ である。) からなる複数の第 2 の酸化物半導体層を成長する工程とを備え、

前記複数の第 2 の酸化物半導体層を形成する工程は、前記第 2 の酸化物半導体層を、各第 2 の酸化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体の製造方法。

【請求項 67】 前記側面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 66 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 68】 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側面が露出する領域が前記側面が露出しない領域と比べて大きくなくなるように形成する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体の製造方法。

【請求項 69】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 66 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 70】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 69 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 71】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 70 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 72】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 71 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 73】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 72 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 74】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 73 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 75】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 74 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 76】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 75 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 77】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 76 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 78】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 77 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 79】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 78 に記載の酸化物半導体の製造方法。

ドであることを特徴とする請求項 71 に記載の酸化物半導体の製造方法。

【請求項 73】 基板上に第 1 の酸化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、前記複数の凸部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部における前記各凸部の間に前記マスク膜から露出する C 面を種結晶とし、

基板上に、それぞれ、第 2 の酸化物半導体層と、該第 2 の酸化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の酸化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の酸化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、

前記各積層体の上部に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流供給部をそれぞれ形成する工程とを備え、

前記積層体が前記第 1 の酸化物半導体層の前記 C 面を所定数だけ跨ぐごとに前記電流供給部からなる共振器面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 74】 前記共振器面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 73 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 75】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記複数の溝部の形成周期を、前記共振器面が露出する領域が、前記共振器面が露出しない領域と比べて大きくなくなるように設定することを特徴とする請求項 73 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 76】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 73 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 77】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 76 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 78】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 77 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 79】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 78 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 80】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 79 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 81】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 80 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 82】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 81 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 83】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 82 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 84】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 83 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面とそれら複数の溝部の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の酸化物半導体層の上部における前記各溝部同士に間に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、

基板上に、第 2 の酸化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第 3 の酸化物半導体層よりも光の屈折率の大きい第 4 の酸化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第 5 の酸化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流供給部を形成する工程とを備え、

前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の酸化物半導体層を、その光の屈折率が前記第 3 の酸化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含むことを特徴とする酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 50】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の酸化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第 1 の酸化物半導体層と前記第 2 の酸化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第 2 の酸化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第 6 の酸化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 51】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の酸化物半導体層と前記第 3 の酸化物半導体層との間に、前記第 2 の酸化物半導体層又は前記第 3 の酸化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第 6 の酸化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 52】 前記溝部の溝部を形成する工程は、前記第 1 の酸化物半導体層の上部に、該第 1 の酸化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の酸化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記エッチング工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 53】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 49 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 54】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 53 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 55】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 54 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 56】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 55 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 57】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 56 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 58】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 57 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

【請求項 59】 前記誘電体は、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項 58 に記載の酸化物半導体素子の製造方法。

(7)

る窒化物半導体素子。

【請求項 8.8】 前記共振器の端面は、前記第 3 の変化物半導体層の A 面であることを特徴とする請求項 8.7 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項89】 前記第3の變化物半導体層と前記第3の變化物半導体層との間に形成され、上部に互いに開閉の變化物半導体層との間に形成され、上部に互いに開閉をおいて基板方向に延び且つその頂面の位置が前記第1の變化物半導体層の上部の頂面の位置と基板方向に異なる複数の凸部を有する第4の變化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項87に記載の變化物半導体素子。

【請求項90】 基板上に形成され、上部に互いに間隔を有して基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層の上で且つ前記各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層の上に形成され、活性層を含

前記第1の窒化物半導体層のC軸と前記第2の窒化物半導体層のC軸とがなす角度は、約0.05度以下であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 9 I】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方向に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、

前記第1の溝部の底面を覆う第1のマスク膜を形成する工程と、

と、
種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程
溝部同士の間の前に第1のマスク膜から露出するC面を
前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各第1の
工程、

前記第2の炭化半導体層の上部に、互いに間隔をおいて前記一方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間隔の領域が前記第1の溝部同士の間隔の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、

工程と、
前記第2の溝部の底面を覆う第2のマスキ膜を形成する

前記第2の窒化物半導体層の上面における前記各第2の溝部同士の間、前記第2のマスク膜から露出するC面を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が前記一の方向とほぼ直交するように電流集束部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項92】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成

とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項95】 前記第1の半導体膜及び第2の半導体膜は窒化物半導体からなり、

前記第1の凸部を形成する工程は、形成した前記第1の凸部同士の間にはさまれた領域に誘電体膜を形成する工程を含み、

前記日印を形成する工程は、前記第1の凸部と基板面に垂直な方向で重ならず且つ前記第1の凸部の近傍に位置する第2の凸部を認識できるように付する工程を含むことを特徴とする請求項9 4に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 96】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互い

前記第 1 の炭化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間、前記第 2 の炭化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間、前記第 1 の炭化物半導体層の上面から露出する C 面を種結晶とし、基板側から、第 2 の炭化物半導体層と、該第 2 の窒

化物質半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の
窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネ
ルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含む
ように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一で且つ前記溝部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、

前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部同士の間領域の近傍に位置する凸部を選択して、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する。

工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項96に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項98】前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項96に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項9】 前記誘導体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化窒化シリコン、酸化窒化アルミニウム又は酸化アルミニウム、酸化窒化シリコン、酸化シリコン又は酸化アルミニウムであることを特徴とする請求項98に記載の半導体装置及びその製造方法。

頁106に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項109】前記マスク膜は、電子サイクロトロ
共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請
求項106に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項110】 前記マスキ膜は高融点金属又は高融点金属化合物であることを特徴とする請求項104に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項111】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タンダグステン、モリブデン、ニオブ、タンダグステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項110に記載の半導体元素子の製造方法。

【發明の詳細な説明】

【0001】本発明は光導波路分野等へ【発明の属する技術分野】本発明は光導波路処理分野等への応用が期待される短波長半導体レーザ素子等に用いる窒化物半導体の製造方法、並びに窒化物半導体を用いた半導体素子、半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】 近半、V族元素に窒素 (N) を含むIII-V族化合物からなる発光半導体は、そのエネルギーギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望である。なかでも、窒化ガリウム系化合物半導体 (Al: GaVIn₃N_{0.5}x, y, z ≤ 1, x + y + z = 1) は、その研究及び開発が盛んに行なわれており、その結果、青色又は緑色発光ダイオード (LED) 素子が実用化されるに至っている。また、光ディスク装置の大容量化に伴って、発振波長が400 nm程度の半導体レーザ素子が要望されており、窒化ガリウム系の半導体を用いた半導体レーザ素子が実用レベルに達しつつある。

【0003】(第1の従来例)以下、第1の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子について図面を参照しながら説明する。

【0004】図37はレーザ発振が達成されている従来の酸化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図37に示すように、従来の半導体レーザ素子は、金銀化合物成長(MOVPE)法により順次形成された、酸化ガリウム(Ga₂O)層301の下に、例えば有機型Ga₂O層302、n型Ga₂O層303、p型AlGa₂O層304、n型AlGa₂O層305、p型AlGa₂O層306、n型AlGa₂O層307、p型AlGa₂O層308、n型AlGa₂O層309、p型AlGa₂O層310、n型AlGa₂O層311、p型AlGa₂O層312、n型AlGa₂O層313、p型AlGa₂O層314、n型AlGa₂O層315、p型AlGa₂O層316、n型AlGa₂O層317、p型AlGa₂O層318、n型AlGa₂O層319、p型AlGa₂O層320、n型AlGa₂O層321、p型AlGa₂O層322、n型AlGa₂O層323、p型AlGa₂O層324、n型AlGa₂O層325、p型AlGa₂O層326、n型AlGa₂O層327、p型AlGa₂O層328、n型AlGa₂O層329、p型AlGa₂O層330、n型AlGa₂O層331、p型AlGa₂O層332、n型AlGa₂O層333、p型AlGa₂O層334、n型AlGa₂O層335、p型AlGa₂O層336、n型AlGa₂O層337、p型AlGa₂O層338、n型AlGa₂O層339、p型AlGa₂O層340、n型AlGa₂O層341、p型AlGa₂O層342、n型AlGa₂O層343、p型AlGa₂O層344、n型AlGa₂O層345、p型AlGa₂O層346、n型AlGa₂O層347、p型AlGa₂O層348、n型AlGa₂O層349、p型AlGa₂O層350、n型AlGa₂O層351、p型AlGa₂O層352、n型AlGa₂O層353、p型AlGa₂O層354、n型AlGa₂O層355、p型AlGa₂O層356、n型AlGa₂O層357、p型AlGa₂O層358、n型AlGa₂O層359、p型AlGa₂O層360、n型AlGa₂O層361、p型AlGa₂O層362、n型AlGa₂O層363、p型AlGa₂O層364、n型AlGa₂O層365、p型AlGa₂O層366、n型AlGa₂O層367、p型AlGa₂O層368、n型AlGa₂O層369、p型AlGa₂O層370、n型AlGa₂O層371、p型AlGa₂O層372、n型AlGa₂O層373、p型AlGa₂O層374、n型AlGa₂O層375、p型AlGa₂O層376、n型AlGa₂O層377、p型AlGa₂O層378、n型AlGa₂O層379、p型AlGa₂O層380、n型AlGa₂O層381、p型AlGa₂O層382、n型AlGa₂O層383、p型AlGa₂O層384、n型AlGa₂O層385、p型AlGa₂O層386、n型AlGa₂O層387、p型AlGa₂O層388、n型AlGa₂O層389、p型AlGa₂O層390、n型AlGa₂O層391、p型AlGa₂O層392、n型AlGa₂O層393、p型AlGa₂O層394、n型AlGa₂O層395、p型AlGa₂O層396、n型AlGa₂O層397、p型AlGa₂O層398、n型AlGa₂O層399、p型AlGa₂O層400、n型AlGa₂O層401、p型AlGa₂O層402、n型AlGa₂O層403、p型AlGa₂O層404、n型AlGa₂O層405、p型AlGa₂O層406、n型AlGa₂O層407、p型AlGa₂O層408、n型AlGa₂O層409、p型AlGa₂O層410、n型AlGa₂O層411、p型AlGa₂O層412、n型AlGa₂O層413、p型AlGa₂O層414、n型AlGa₂O層415、p型AlGa₂O層416、n型AlGa₂O層417、p型AlGa₂O層418、n型AlGa₂O層419、p型AlGa₂O層420、n型AlGa₂O層421、p型AlGa₂O層422、n型AlGa₂O層423、p型AlGa₂O層424、n型AlGa₂O層425、p型AlGa₂O層426、n型AlGa₂O層427、p型AlGa₂O層428、n型AlGa₂O層429、p型AlGa₂O層430、n型AlGa₂O層431、p型AlGa₂O層432、n型AlGa₂O層433、p型AlGa₂O層434、n型AlGa₂O層435、p型AlGa₂O層436、n型AlGa₂O層437、p型AlGa₂O層438、n型AlGa₂O層439、p型AlGa₂O層440、n型AlGa₂O層441、p型AlGa₂O層442、n型AlGa₂O層443、p型AlGa₂O層444、n型AlGa₂O層445、p型AlGa₂O層446、n型AlGa₂O層447、p型AlGa₂O層448、n型AlGa₂O層449、p型AlGa₂O層450、n型AlGa₂O層451、p型AlGa₂O層452、n型AlGa₂O層453、p型AlGa₂O層454、n型AlGa₂O層455、p型AlGa₂O層456、n型AlGa₂O層457、p型AlGa₂O層458、n型AlGa₂O層459、p型AlGa₂O層460、n型AlGa₂O層461、p型AlGa₂O層462、n型AlGa₂O層463、p型AlGa₂O層464、n型AlGa₂O層465、p型AlGa₂O層466、n型AlGa₂O層467、p型AlGa₂O層468、n型AlGa₂O層469、p型AlGa₂O層470、n型AlGa₂O層471、p型AlGa₂O層472、n型AlGa₂O層473、p型AlGa₂O層474、n型AlGa₂O層475、p型AlGa₂O層476、n型AlGa₂O層477、p型AlGa₂O層478、n型AlGa₂O層479、p型AlGa₂O層480、n型AlGa₂O層481、p型AlGa₂O層482、n型AlGa₂O層483、p型AlGa₂O層484、n型AlGa₂O層485、p型AlGa₂O層486、n型AlGa₂O層487、p型AlGa₂O層488、n型AlGa₂O層489、p型AlGa₂O層490、n型AlGa₂O層491、p型AlGa₂O層492、n型AlGa₂O層493、p型AlGa₂O層494、n型AlGa₂O層495、p型AlGa₂O層496、n型AlGa₂O層497、p型AlGa₂O層498、n型AlGa₂O層499、p型AlGa₂O層500、n型AlGa₂O層501、p型AlGa₂O層502、n型AlGa₂O層503、p型AlGa₂O層504、n型AlGa₂O層505、p型AlGa₂O層506、n型AlGa₂O層507、p型AlGa₂O層508、n型AlGa₂O層509、p型AlGa₂O層510、n型AlGa₂O層511、p型AlGa₂O層512、n型AlGa₂O層513、p型AlGa₂O層514、n型AlGa₂O層515、p型AlGa₂O層516、n型AlGa₂O層517、p型AlGa₂O層518、n型AlGa₂O層519、p型AlGa₂O層520、n型AlGa₂O層521、p型AlGa₂O層522、n型AlGa₂O層523、p型AlGa₂O層524、n型AlGa₂O層525、p型AlGa₂O層526、n型AlGa₂O層527、p型AlGa₂O層528、n型AlGa₂O層529、p型AlGa₂O層530、n型AlGa₂O層531、p型AlGa₂O層532、n型AlGa₂O層533、p型AlGa₂O層534、n型AlGa₂O層535、p型AlGa₂O層536、n型AlGa₂O層537、p型AlGa₂O層538、n型AlGa₂O層539、p型AlGa₂O層540、n型AlGa₂O層541、p型AlGa₂O層542、n型AlGa₂O層543、p型AlGa₂O層544、n型AlGa₂O層545、p型AlGa₂O層546、n型AlGa₂O層547、p型AlGa₂O層548、n型AlGa₂O層549、p型AlGa₂O層550、n型AlGa₂O層551、p型AlGa

【0013】次に、化学的気相堆積（CVD）法等によ
り、酸化シリコン等からなる誘電体を堆積した後、フ
トリートソングラフイ法及びエッチング法とによって、堆積
層を有するマスキング膜403を形成する。

【0014】次に、MOVPE法又はハライド気相成長法(HVPE)法により、マスク膜403の上にシード層402のマスク膜303から露出した部分を種結晶とすべく選択成長によってGaNからなる半導体層404を成長させる。

(10015) このとき、半導体層 404 におけるマスク 403 の開口部の面積は、転位密度が約 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度の高転位密度領域 404 a となるもの、マスク層 403 上でラテラル成長した領域は転位層、マスク層 403 の開口部の面積は、転位密度が約 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度の低転位密度領域 404 b を与えられる。

【0016】図39はこの低転位密度領域404bの上
方、一方に活性領域、すなわち電流注入領域となるリッジ部を
形成した半導体レーザ素子の断面構成を示している。図
39において、図37及び図38に示す構成部材と同一
の構成部材には同一の符号を付している。

【0017】このように、MQW活性層306における電伝位密度領域404bの上方に電流注入領域を設けることより、レーザ素子の信頼性の向上を図ることができ

[0018]

【発明が解決しようとする課題】本願発明者は、種々
 案例に係る半導体レーザ素子には、以下に述べるような
 課題があることを見出ししている。

【0019】第1に、第2の従来例に係るE・LOG法による窒化物半導体の成長方法に対する問題点を説明する。

【0020】図40(a)~図40(d)は半導体層404の成長時にマスク膜403上に窒化ガリウムの多結晶晶体405が析出して、半導体層404の結晶性が劣化する様子を模式的に表わしている。

【0021】具体的には、図40(a)に示すように、シート層402の上面に開口部を有するマスキング層403を形成し、次に、図40(b)に示すように、シート層402を有するマスキング層403の各開口部から露出する領域を縁部として複数の導体層404を形成し、それぞれ成長させる。このとき、マスキング層403は誘電体材料からなり、誘電体として結晶化されない複数の多結晶性材料からなり、誘電体として結晶化されることがある。

【0022】次に、図40(c)及び図40(d)に示すように、多結晶体405が析出した状態で、複数の半導体層404が一体化しその表面が平坦化されるまで成長し続けると、多結晶体405の上には結晶性が悪い領域404cが形成される。

2.11.18.

【0005】p型クラッド層308の上層部及びp型コンタクト層309には、層が3nm〜10μm程度のリソグラフィが形成されている。MQW発光層306を含む層部は、n型コンタクト層303の一部を露出するようにエッチングされており、エッチング部は保護層の上面及び側面は絶縁膜310により覆われている。絶縁膜310におけるp型コンタクト層309の上側部分にはストレータ上の開口部が設けられ、絶縁膜310のリソグラフィには開口部を通してp型コンタクト層303とオーミック接触するp側電極311が形成されている。また、n側コンタクト層303の形成領域310からの露出した部分の上にはn型コンタクト層303とオーミック接触するn側電極312が設けられている。

【0006】このように形成された半導体レーザ素子におけるn側電極312を接地し、p側電極311に所定電圧を印加すると、MQW活性層306内で光学的増倍が生じ、発振波長が400 nm程度のレーザ発振を起こす。

【0007】レーザ光の発振波長は、MQW活性層306を構成するGaInIn_xN及びGaIn_yNの組成又は厚によって変化する。現在、室温上での連続動作が実現されている。

【0008】また、リッジ部の幅又は高さを調節することによって、水平方向（基板面）に平行の横モードにおける基本モードのレーザ発振を可能としている。すなわち、基本モードと1次以上の高次モードとの光の閉じ込め係数差に差を設けることにより、基本モードにおける発振を可能としている。

【0009】基板30.1には、サファイアの他に、炭化ケイ素(SiC)やネオジムガレウム(NdGaO₃:Neodymium gallate)等が用いられるが、いずれの材料も窒化ガリウムと格子整合を行なわず、コヒーレンス成長を得ることが難しい。その結果、刃状転位、らせん転位又は異相の転位が混入した混合転位が多く、例えば基板には異相の転位を用いた場合には、約 1×10^9 cm⁻²の転位が存在して、半導体レーザ素子の信頼性の低下を引き起こす。

[0010] そこで、方位密度を低減する方法として、逆斜め方向成長 (epitaxial lateral overgrowth: ELOG) 法が提案されている。これは格子不整合が大きい半導体結晶において、逆斜め方位を低減させる方法として有効である。

【0011】(第2の従来例)図38はELOGによって形成された電化ガリウムからなる半導体層の結晶転位の分布を模式的に表わしている。

【0012】図38を用いてELOG法の概略を説明すると、まず、MOVPE法等により、サファイアからなる基板401上にGaNからなるシード（種）層402を成膜する。

-10-

【0023】本発明者らは、この結晶性が悪い領域4004の上方に電流注入領域を形成しても良好な特性を持つレーザ素子を得て得ることはできないという知見を得ている。

【0024】第2に、第1及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子では、活性層の基板面に対して垂直な方向の光の閉じ込め係数値を大きくすることが困難であるという問題点を呈出している。

【0025】図41は、第1の従来例に係る半導体レーザ素子における、MQW活性層306における基板面に垂直に延在する方向の屈折率分布と、共振波長の関係を示している。MQW活性層306に閉じ込められた生成光の一部が基板301に漏れ出して、n型コンタクト層303に定在波が生成していることが分かる。このように、MQW活性層306から基板301への生成光の漏れが多く、MQW活性層306への光の閉じ込め率が低下し、レーザ光の発振し値が大

【0026】また、図4は第1の徒長葉に係るレーザ葉子の生成状況を示している。ここで、傾斜面方向における低照度面の法線方向からの水平方向（基板面方向）へのずれを表わし、傾斜は出射光の生成角を意味している。第1の徒長葉のように基板301側への生成光の偏角が大きいと、異峰性の3次元投影像を得ることも困難となる。これは、第2の徒長葉に係る半導体レーザ葉子においても同様である。

【0027】第3に、第1の従来例に係る半導体レーザチップは、ウェハ形態で形成された複数のレーザ素子を、素子毎に、へき開により個々のレーザチップとして形成する。例えば、へき開により個々のレーザチップと形成する場合、サブファイアから有意な酸化物堆積層が得られる際に、サブファイアから有意な酸化物堆積層が得られないという問題がある。すなわち、図4に示すように、基板301を構成するサブファイアは、面方位が(1-10)面の、いわゆるM面のへき開が容易であるため、通常サブファイアのM面をへき開としている。

【0028】ところが、酸化物半導体、例えば、窒化ガリウムのM面はサブファイアのM面と面内で30度ずれた方向に傾いているため、サブファイアのM面と面内で30度ずれた方向に傾いた場合、面方位が一致する。このため、基板301へへき開するとサブファイア層302及びその上の積層膜には、基板301とへき開面が30度ずれただけとなる。へき開面が、段差が数百nmの凹凸面となつて現れ

【0029】共振器端面がこのように凹凸面となると、共振器端面によるレーザ光のミラ損失が増大するため、半導体レーザ素子の動作電流が増大し、ひいては信頼性の低下をもたらす。さらに、共振器端面の凹部及び凸部は無秩序に発生するが、所定の反対極を有する共振器端面は無秩序に形成することが困難となり、歩留まりが低下する。なお、共振器の形成に、へき開法では

なくドライエッチング法を用いても同様の問題が生じる。なお、本項明細書においては、面方位の負符号^一は該負符号に続く一指数の反転を表す。

【0030】一方、第2図従例に係る半導体レーザ素子の場合は、選択成長用のマスク層403のストライプ形状の開口は、半導体層404へのM層に平行な速度による成長を行なう。これはA軸方向へのマトリアル成長と、他の方向に比べて極めて速く、短時間で効率的な選択成長を行なうからである。このため、低圧密度領域404bはM層に平行となるので、低圧密度領域404aの上に形成するレーザ素子の共振端面は必然的にA面となる。その結果、基板401のA面ではA面への成長は行なわれる。前述のように、サファイアはM面におけるべき開孔は容易であるが、A面は処理容易ではなかったため、半導体レーザ素子の歩留まりが大幅に低下するという問題が生

【0031】第4に、E-LOG法は、シート層402のC軸と、その上に選択成長する半導体層404のC軸とのなす角度(チルト)が0.1度〜1度程度に存在することが知られている。

【図 3-2】一方、ELOC 法によって得られた低密度化密度領域 404b を再度結晶品とし、高化密度領域 404a を示す。このように、低化密度領域により破断して再度 ELOC 法を行なうと、低化密度領域 404b のみからなる窒化ガリ半導体結晶を得ることができ、これにより、低化密度領域 404a のみからなる結晶品とに接面が入るの装置を構成することが可能となり、へき間にる歩留まりを大幅に向上させる。

【0033】しかしながら、A軸方向に共振帯を形成する前に、シーテッド402とその上の選択成長層との間に、向にジグザグ形状とされる。このジグザグ形状の共振器に對して、導波路が形成され、導波路要素の動作特性が増加するといふ問題がある。また、複数の共振器が互に對向してそれぞれ垂直な方向に設けられる垂直共振器型の面発光レーザ器がアレイを形成するような場合には、アレイ状の共振器とアレイの各々の出力方向が一致しなくなるという問題がある。

【0034】第5に、前記第2の従来例に係る半導体デバイス構造は、低炭化密度領域404bの面積が約 $5\mu\text{m}^2$ 程度と極めて小さく、この炭化密度保持領域404bの面積と比べて小さく、約3nmの幅を有するフォトリソグラフィ工程における位置合わせに高い精度が要求され、フォトリソグラフィ工程のオーバーラップの低下や歩留まりの低下が生じて、生産効率を向上できないという問題がある。

【0035】本発明は、前記の種々の問題に鑑みてなされ、ELOG法による結晶性の向上を図ることと第1の目的とし、共振器への光の閉じ込め係数値を大きくできる

ようにすることを第2の目的とし、ミラー損失が少ない共振器端面を形成できようすることを第3の目的とし、導波損失が少ない共振器を形成できるようにすることとし、第4の目的とし、リッジ部形成用のマスクの位置合わせを容易に行なうようすることを第5の目的とし、これをにより、本発明は、特に光ディスク装置用レーザ素子への応用に優れた効果を奏する。

【0036】
 【課題】解決するための手段】本発明に係る第1の變化物半導体層の製造方法は、前記第1の目的を達し、基板の上に、 $Al_1Ga_{1-n}In_n$ (但し、 $0 < n < 1$) ならぬ $u \leq u_1$, $v \leq v_1$, $w \leq w_1$ である、 $u + v + w = 1$ である、第1の變化物半導体層の上部に、基板部分に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に接してなる凹部の底面を覆うマスキング層を形成する工程と、第1の變化物半導体層の上部に、マスキング層を露出する凸部の頂面であるC面を結晶品として、 $Al_1Ga_{1-n}In_n$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ である、 $x + y + z = 1$ である、) ならぬ第2の變化物半導体層を成長させる工程とを備えている。

【0037】第1の窒化半導体の製造方法によると、形成第1の窒化半導体層の上面に複数の凸部を形成し、形成した凸部同士に亘る底面をマスク膜により覆うため、第2の窒化半導体層は第1の窒化半導体層の凸部の頂面に覆われたC面のみを種結晶として成長する。

その結果、マスク膜の上で第2の窒化物半導体層の多結晶体が析出したとしても、マスク膜を凸凹した間の底面上に設けられているため、第2の窒化物半導体層が基底面と平行な方向に成長（ラテラル成長）する際に、多結晶体（体）の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0038】本発明に係る第2の変化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 $Al_0Ga_{1-x}In_xN$ (但し、 x, w, v は、 $0 \leq x, w, v \leq 1$ である。)からなる第1の化合物半導体層を形成する工程と、第1の変化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士にはまてなる凹部の形成とその壁面の少なくとも一部を覆うマスキング層を形成する工程と、第1の変化物半導体層として、各凸部におけるマスキング層から露出する領域を種結晶として、 $Al_xGa_{1-x}In_zN$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$ である。)からなる第2の変化物半導体層を成長させる工程とを備える。

【0039】第2の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長する際に、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体

及底面及び側面の一部に設けられているため、第2の窒化物半導体層は多結晶体の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0040】本発明に係る第1の炭化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に第1の炭化物半導体層を形成する工程と、第2の炭化物半導体層の上層に、基板面方向に互いに隣接して延びる複数の溝の溝壁を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の炭化物半導体層の上面における各溝部周回上にマスク膜から露出する上面を絶縁品とすることで、基板表面から、第2の炭化物半導体層と、該第2の炭化物半導体層より成る活性層と、該活性層よりもエネルギーマイグレーションが大きい第4の炭化物半導体層とを含むように層構造を形成する工程と、最上位の上に、活性層とキャリアを遷移的に注入する電流制御部を形成する工程とを備えている。

【0041】第1の電化物半導体素子の製造方法による電化物半導体素子と、活性層を含む積層体は本発明の第1の電化物半導体素子の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを含む積層体の電化物半導体素子としての信頼性を著しく向上させることができる。

【0042】本発明に係る第2の炭化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板に第1の炭化物半導体層を形成する工程と、第1の炭化物半導体層の上面に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の両端ととの壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の炭化物半導体層の上面における各溝部間の間にマスク膜から露出する領域を露光し、基板面方向より、第2の炭化物半導体層と、溝部の炭化物半導体層よりよりエネギーギャップが小さい第3の炭化物半導体層からなる活性層と、誘導性層よりよりエネギーギャップが大きい第4の炭化物半導体層とを含むように積層体を成長させる工程と、積層体の上に、活性層にキヤリを導致的に注入する前記炭化層を形成する工程とを備えている。

【0043】第2の窒化体半導体素子の製造方法による
と、活性層を含む層は本発明の第2の窒化体半導体
の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上
下方向から挟む窒化体半導体層のそれぞれの結晶性が低
れる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向
上することができる。

【0044】本発明に係る第3の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、基板の上の各凸部の頂面に、 $Al_xGa_yIn_zN$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$)を形成する工程とを含む。

31
るp型クラッド層20、及びp型GaNからなるp型コ
ンタクト層21を有している。

【0088】知られているように、ダブルテラド接合型のレーザ構造は、MQW活性層18におけるインジウムを含む井戸層のエネルギーギャップが、ガミニウムを含む井戸層のエネルギーギャップ16、20のエネルギーギャップ値及びp型クラッド層17、20のエネルギーギャップ値よりも小さい。一方、光の屈折率は、MQW活性層18の光の層厚が最も大きく、以下、光ガイド層17、19、クラッド層16、20の順に小さくなる。

【0089】p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21は、幅が3μm、5μm程度の電流注入領域で、電流密度が約3.1×10⁴ A/cm²程度で流れている。

【0090】MQW活性層18を含む積層体30は、n型コンタクト層15の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体30の上面及び側面は酸化シリコンからなる絶縁膜22により覆われている。

【0091】絶縁膜22におけるp型コンタクト層21の上側には凸部12aと平行情形開口部が設けられ、絶縁膜22上のリッジ部31の上側及び側方の領域には、開口部を通してp型コンタクト層21とオーミック接触するニッケル(Ni)と金(Au)との積層体からなるp側電極223が形成されている。

【0092】n型コンタクト層15の絶縁膜22からの露出部分の上にはn型コンタクト層15とオーミック接触するチタン(Ti)とアルミニウム(Al)との積層体からなるn側電極24が形成されている。

【0093】ここで、リッジ部31は空隙部12cの上方に位置する、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成されている。

【0094】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0095】図2(a)、図2(b)～図4は本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0096】まず、図2(a)に示すように、例えば、MOVPE法を用いて、基板温度を約500℃〜530℃に設定した後、III族元素(Ⅲ)を主として、基板11上に、III族元素のトリメチルガリウム(TM₃G)と、窒素系のアンモニア(NH₃)とを供給して、GaNからなる低圧バッファ層(図示せず)を堆積する。続いて、基板温度を約1020℃〜1030℃にまで昇温した後、TMGとNH₃とを基板11上に供給することにより、GaNからなるシート層12を成長させる。

【0097】次に、図2(b)に示すように、シード層12の上面にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりスタンプ状にパターンニングを行なって、レジストパターン40を形成す

32 続ける。続いて、レジストパターン40をマスクとして、シード層12に対してドライエッチングを行なうことにより、シード層12の上部に、断面幅が約 $3\mu\text{m}$ の凸部12aと断面幅が約 $12\mu\text{m}$ の溝部(リセス部)12bとを1周期とする周期構造体形成する。

【0098】次に、図3（a）に示すように、電子サイクロトロノ加熱（ECR）プラズマ法を用いて、シリコン層12における、窒素12aの底面及び壁面とシードパターン42との上には、硬化シロコからなるマスケッド13を堆積する。ここで、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用いて、このように、マスケッド13の堆積にECRプラズマ法を用いることにより、低温で良質のマスケッド13を得ることができ、

【0099】次に、図3 (b) に示すように、レジスタパターン40に対してリフトオフを行なって、レジスタパターン40及び線レジスタパターン40上のマスク膜113を除去する。なお、マスク膜113は、溝部12bの壁面を覆っているためよく、壁面の一部を覆っている全面を覆っている。

【0100】次に、図4に示すように、再度MOVPE法を用いて、シード層12の上に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現われるC面を種結晶とし

て、GaNからなる選択成長層14を成長する。このとき、選択成長層14は、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長（ラテラル成長）して、各溝部12bの両側から成長してきた結晶成長層12bの互いに対向する側面が溝部12bのほぼ中央部で接合して接合部14aを形成する。これにより、複

数の凸部12aの頂面より成長する各結晶体は一体化され、且つ、その上面は面となる。続いて、一体化された選択成長層14の上に、n型コンタクト層15、n型クラッド層16、n型ガイド層17、MQW活性層18、p型ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。

【0101】その後、図1に示すように、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、MW Q活性層18に選択的に電流を注入するリッジ部31を、空腔部12cの上方で且つ接合部14aと重ならない領域からなる低抵抗密度領域に形成する。

[0102] 続いて、図体部30におけるリッジ部31を含む任意の領域に対してライエッチングを行なう。このとき、図体部30の露出面に絶縁膜22を堆積する。その後、絶縁膜22におけるリッジ部31の上上面部分及びn型コンタクト層15の上上面部分にそれぞれ開口部を選択的に設けた後、蒸着法又はスパッタ法等を用い、リッジ部31における絶縁膜22が開口部からその周囲領域及びその側面まで上パッド層23を形成し、n型コンタクト層15におけるp型電極層24を形成する。

22の開口部からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【10131】このようにして得られた半導体 γ -萘素子に対して、 p 側電極23と n 側電極24との間に順方向の所定電圧を印加すると、MQW活性層18に向かって、 p 側電極23から正孔が注入されると共に n 側電極24から電子が注入され、MQW活性層18において光増利得を生じて、発光波長が約404nmのレーザ発振を起こす。

【0104】図に示すように、選択成長層14における種結晶の上側の領域、すなわち、凸部12aの上側の領域は、転位密度が約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ と高転位密度領域14bが形成される。一方、ラテラル成長した領域は、転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度の低転位密度領域14cとなる。従って、積層体30における低転位密度領域14cの上に、リッジ部31、すなわちレーザ光の共振器との信頼性を向上させることができる。素子の信頼性を向上させることができる。

【0105】本実施形態の特徴であるシート層12の溝部12bの効果について図6(a)～図6(d)を参照しながら説明する。

【0106】図6 (a) に示すように、シード層12の上部にストライプ状の薄部12bを形成し、薄部の少なくとも底面上にマスキング膜13を形成する。

【0107】次に、図6 (b) 及び図6 (c) に示すように、溝部12b同士に挟まれてなる凸部12aの頂面を種結晶として選択成長図14を成長させると、マスク膜13の上にGaNからなる多結晶体41が析出する場
合がある。

【0108】次に、図6(d)に示すように、多結晶体41が析出したままEO成長を続けて、選択成長層14が一体化されたとしても、種結晶である凸部12aの

頂面と、多結晶体4-1が析出した溝部1-2の底面との間に、発着面が形成されているため、多結晶体4-1は選別成長長径1-4及び微粒子3-0の結晶性への影響を及ぼすことがない。その結果、積層体3-0の結晶性のばらつきを大きく低減させ、半導体レーザ素子の製造の歩留まりを大きく向上させることができる。

【図109】と基礎面、図1に示した逆起電層14及び積層膜30を基板面に垂直な方向に貫く接合部14a及び、円状配位が集中して小傾角境界を形成している。従って、円周電圧24から注入された電子は数個の接合部14aを横切つてMQW活性層18に到達することになることが、図14に集中した配位が電子の注入を妨げることはない。

【0110】また、半導体レーザ素子をチップ状に形成する際には、共振器のミラー面となる共振器端面を形成する必要がある。一般に、半導体レーザ素子の共振器端面は基板11をへき開することによって形成するが、へき開時には基板11に厚やクラックが生じることもある。

-18-

2

34

【0111】図39に示した第2の従来例に係る製造方法は、基板401と最下層の半導体層404とが接触しているために、基板401に生じた傷はMQW活性層306を含む積層体にまで達し、レーザ素子の動作及び光学的特性を大きく損ねるといった不具合を生じる。

【0112】一方、本実施形態においては、基板11と積層体30との間に空層部12cを設けているため、基板11に生じた傷を空層部12cでとめることができる。このため、基板11に生じた傷によって積層体30が剥がれる確率を著しく低減できる。

【例113】 また、図37に示した第1の従来例に係る製造方法は、サブファクターが炭化ケイ素からなる基板301上に窒化物半導体層を成長させること、結晶の表面密度が約 10^8 cm^{-2} と多くなる。このような高圧化密度を有する半導体結晶は、ステップフロー成長する際に、高密度の転位、特にせん断転位によって結晶表面のステップが終端され、結晶内部にマイクロプロファイルが形成される。

れる。このため、結晶表面の凹凸が大きくなって平坦化
が悪い結晶となってしまう。その結果、インジウムを含
むMnQW活性層306を成長する際に、原料のインジウ
ムが成長中の結晶内に吸り込まれる量にばらつきが生じ
てしまい、レーザ素子のしきい値電流が増大する等の悪
影響が生じる。

【0114】本実施形態に係る製造方法によると、図5に示した、ラテラル成長層、すなわち低抵抗密度増加層14cにおいて、一枚またはステップ成長を現れさせており、結晶表面の平坦性が良好である。その結果、MQ活性層18を成長する際にも、インジウムの局所的な偏析が生じないので、しまい低抵抗の低域を図ることが可能となる。

【0115】なお、本実施形態においては、窒化物半導体の成長方法にMOVPE法を用いたが、これに限定されない。MOVPE法に代えて、ハイドライド気相成長法（HVPE）法又は分子線エピタキシン（MBE）法等の窒化物半導体を成長可能な方法であればよい。後述の各実施形態においては同様なものである。

【10116】また、基板11にサフアブを用いたが、サフアブに代えて、例えば酸化ケイ素、ネオジムガレート (NGO) または炭化ガリウム等を用いてもよい。

【10117】また、シート例12は、基板11の周部に低温バツファ層を介した2段階成長によって形成した、シート例12に導電品を得られる方法であれば、低抵抗バツファ層12を必要としない。

【0118】また、シート図12の上部の凸部12aの形状にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが矩形で、溝部12bの少なくともとも底面にマスキング13が形成された場合は、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部12aにはおけるマスク13により覆われていたが、溝部のうちの下側を延長して、

18-

12cが形成される方法であらば良い。さらには、凸部12aをシード層12の上部を回り込むリセスエッチによって形成する代わりに、シード層12の平坦な上面に、ストライプ状の開孔パターンを持つ選択成長用のマスク膜を形成し、そのマスク膜の開孔パターンから突出して成長した凸部を用いてもよい。

[0119] また、マスク膜13は、空腔部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

[0120] また、マスク膜13の材料に酸化シリコンを用いたが、酸化シリコンに代えて、他の誘電体膜又は非晶質の絶縁膜を用いてもよい。具体的には、酸化シリコン(SiO₂)、酸化窒化シリコン(Si₃N₄)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化酸化アルミニウム(Al₂NO₃)、酸化チタン(TiO₂)、酸化ジルコニウム(ZrO₂)又は酸化ニオブ(Nb₂O₅)を用いてもよい。これらの膜はECRスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

[0121] (第1の実施形態の第1変形例) 以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例として、マスク膜13に高熔点金属又は高熔点金属膜13を用いた例を説明する。

[0122] 選択成長用のマスク膜13に、高熔点金属であるタンタルステン(W)を用いると、マスク膜13に誘電体を用いる場合と比べて結晶成長の選択性が向上し、マスク膜13上の多結晶膜41の析出がより抑えられる。これにより、多結晶膜41の影響を受けない高品質な誘電体30を極めて容易に形成することができる。

[0123] これは金属からなるマスク膜13の誘電体からなるマスク膜13と比べて、高熔点金属膜13との結合が弱いこと起因する。

[0124] また、高熔点金属であるタンタルステン、その熔点が3380℃で、金属で最も熔点が高く且つ蒸気圧も低く特性が安定しているため、酸化シリコン等の誘電体を用いた場合のシリコンや酸素等の不純物が選択成長層14へ混入する虞がない。このため、タンタルステンからなるマスク膜13を用いて成長した選択成長層14には深い準位や非発光中心が形成されない。

[0125] 図7は誘電体からなるマスク膜13を用いた選択成長層14と、高熔点金属からなるマスク膜13を用いた選択成長層14との室温でのフォトルミネッセンスを比較した結果を示している。

[0126] 図7に示すように、第1変形例に係る選択成長層14は波長が430nm付近の深い準位からの発光もなく、極めて強いバンド端発光を得られている。これにより、第1の実施形態に係る選択成長層14と比べて、より高品質な結晶膜を得られることが分かる。従って、このような高品質な選択成長層14の上に積層体30を成長すれば、より発光効率が高いMQW活性層18を形成することができる。

[0127] なお、第1変形例に係るマスク膜13にタ

ングステンを用いたが、代わりに、他の高熔点金属又は高熔点金属化合物を用いてもよい。例えば、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンタルステンシリサイド(MoSi₂)、ニオブシリサイド(NbSi₂)、モリブデンシリサイド(MoSi₂)又はニオブシリサイド(NbSi₂)を用いてもよい。これらの膜は、電子ビーム蒸着法又はスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

[0128] (第1の実施形態の第2変形例) 図8は本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る酸化シリコン系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図8において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

[0129] 図8に示すように、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上に、選択成長層及びn型コンタクト層を設けることなく、n型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn型クラッド層16を設けている。

[0130] 第1の実施形態において説明したように、シード層12の上部に種結晶となる領域を除いて溝部12bを形成しているため、マスク膜13の上部膜13aに多結晶膜が析出したとしても、多結晶膜がシード層12の上に選択成長する半導体膜に取り込まれなくなる。その結果、選択成長する半導体膜の結晶性が良好となり、レーザ構造の損傷層30の一部であるn型クラッド層16をシード層12の上に直接に形成できる。この場合には、n型電極層24は露出したn型クラッド層16の露出部分上に設けることになる。

[0131] (第2の実施形態) 以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

[0132] 図9は本発明の第2の実施形態に係る酸化シリコン系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図9において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

[0133] 本実施形態に係る半導体レーザ素子は、例えば、サブファイアからなる基板11Aの上部に、選択成長用のストライプ状の凸部11aが共振器端面のM面に垂直な方向、すなわち基板11AのA軸(=x-z平面)方向に設けられている。

[0134] ここで、n型コンタクト層15は、基板11Aの凸部11aのC面に生成された単結晶膜を種結晶として直接に形成されていることを特徴とする。

[0135] 以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

[0136] 図10(a)、図10(b)～図12は本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ素子の工程順の断面構成を示している。

[0137] まず、図10(a)に示すように、C面を主面とする基板11A上にレジスト膜を塗布した後、塗

布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターンニングを行なって、基板11AのA軸方向に延びるストライプパターンでその周期が約10μm～30μmとなるレジストパターン40を形成する。

続いて、レジストパターン40をマスクとして、反応性イオンエッチング(RIE)等のドライエッチングにより、基板11Aの上部に、断面幅が約9μm～27μmで深さが約20nm～500nmの溝部11bを形成する。ここでは、溝部11bの開口の開口幅からなる凸部11aの断面幅を約1μm～3μmとしている。

[0138] 次に、図10(b)に示すように、レジストパターン40を除去して、上部にA軸方向に延びるストライプ状の凸部11aを有する基板11Aを得る。

[0139] 次に、図11に示すように、MOVPE法を用いて、基板11aの上部に約1000℃に昇温した後、例えば、圧力が約100Torr(1Torr=133.3Pa)の水素と窒素との混合雰囲気として、基板11Aの上にトリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)及びシリラン(SiH₄)を供給して、基板11Aの上に、凸部11aの頂面に現れたC面に生成する単結晶膜を種結晶として、n型GaNからなるn型コンタクト層15を成長させる。このとき、n型コンタクト層15は、凸部11aの頂面から上方に成長すると共に、基板面から成長した凸部11aの側面に沿って、隣接する溝部11bの両側面に成長してきた結晶膜同士が互いに斜向する側面が溝部11bのほぼ中央部で接合して接合層15aを形成する。これにより、複数の凸部11aの頂面から成長する各結晶膜が一体化されて、上面がC面からなるn型コンタクト層15が形成される。また、このとき、各溝部11bの底面及び壁面とn型コンタクト層15の下面とにより囲まれてなる複数の空腔部11cが形成される。

[0140] ここで、サブファイアからなる基板11Aによる選択成長の成長機構を説明する。

[0141] 通常、化合物半導体を成長する際には、誘電体半導体と種結晶とが異なる基板を用いる場合には、基板上に化合物半導体からなる低温バッファ層を介さずGaN結晶を直接に成長させると、GaNからなる単結晶膜同士が合体してなる3次的な膜しか得られない。

[0142] 一方、本実施形態においては、基板11Aの溝部11bの底面にドライエッチングを施しているため、溝部11bの底面及び壁面にはドライエッチングによるダメージ層が形成される。このため、溝部11bの底面及び壁面上では単結晶膜の生成が阻害される。また、ドライエッチングが施されている凸部11aの頂面は、その断面幅が約1μm～3μmと小さいため、高品質の単結晶膜が容易に生成される。このように凸部11aの頂面に生成された単結晶膜が選択成長の種結晶となり、前述の成長条件で基板面方向への選択成長が促

進される。

[0143] 図11において、接合部15a以外の選択成長領域では真面目に約1×10⁶cm⁻²の密度で観測されるのに対して、接合部15aではC面内に水平な転位が約4×10⁷cm⁻²の密度で観測される。n型コンタクト層15の厚さは、溝部11bの幅等にも依存するが、約2μm～6μmとされている。また、n型コンタクト層15における内部11aの上面部分のC面と空腔部11c上の領域の転位とを比較すると、内部11aの転位は約0.03度～0.05度と抑えられている。

[0144] このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶膜であるn型コンタクト層15が基板11Aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

[0145] なお、このとき、接合部15aの下部に、空腔部11c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

[0146] さらに、本実施形態においては、n型コンタクト層15の選択成長を行なう際に、溝部11bの底面に多結晶膜が析出したとしても、基板11Aの上部に設けた凸部11aと溝部11bとの間に生じる段差によって多結晶膜がn型コンタクト層15と接触しないため、結晶膜30の結晶の品質に影響を受けることはない。その結果、結晶膜30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低減でき、歩留まりを向上させることができる。

[0147] 次に、図12に示すように、n型コンタクト層15の上に結晶膜30の厚りの半導体膜を形成する。

[0148] すなわち、例えば、基板温度を約970℃に設定した後、圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、n型コンタクト層15の上に、n型クラッド層16、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長させる。ここでは、MQW活性層18を、厚さが約4nmのGa_{0.45}In_{0.55}Nからなる井戸層と厚さが約6nmのGaNからなるバリア層により構成している。

[0149] 続いて、図9に示すように、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、後層30のM面(=x-z平面)方向、すなわち、基板11Aの溝部11bと平行な方向に、MQW活性層18に選択的に電流を注入するリッジ部31を、空腔部11cの上方で且つ接合部15aと重ならない領域、すなわち、低転位密度領域に形成する。ここで、リッジ部31の幅は約2μm～5μmとされている。

[0150] なお、GaN結晶は可視光によって透明であるため、光学顕微鏡により凸部11aと空腔部11

【0175】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止す

【0175】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部12cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部12bの深さ寸法に依存する。前述したように、溝部12bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11側の光の漏れを實質的になくすることができる。

【0176】また、選択成長層14Aのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0177】また、本実施形態においても、選択成長層14Aを成長させる際に、AlGaInからなる多結晶体がマスク膜13上に析出したままELO成長を続行して、多結晶である溝部12aの頂面と多結晶体が析出した溝部12bの底面との間には段差が生じているため、多結晶体により選択成長層14Aの結晶性が劣化するものとない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく減らすことができ、半導体レーザ素子の製造歩留まりが向上する。

【0178】以下、積層体30上のリッジ部31の位置合わせ方法について説明する。

【0179】積層体30における空隙部12cの上の上方の低転位密度領域にリッジ部31を形成するには、フォトリソグラフィ法によりリッジ部31の位置決めを高精度に行う必要がある。

【0180】図17は積層体30を形成する前の選択成長層14の光学顕微鏡による平面写真と、それと対応する選択成長層14の断面図とをそれぞれ示している。図17に示すように、光学顕微鏡によって、低転位密度領域14cは、高転位密度領域14b及び接合部14aと容易に識別できる。従って、フォトリソグラフィ法によるリッジ部31の位置決めを行う工程において、専用のアラメントパターン（位置合わせマーク）を用意する必要はない。

【0181】また、共振器端面の形成には、基板11及び積層体30をへき開する必要がある。本実施形態においても、シード層12に設けた空隙部12cにより、基板11に生じた傷が空隙部12cでとどまるため、積層体30への影響を減らすことができる。

【0182】本実施例においては、n型電極24はn型超格子クラッド層16Aと接するように形成されており、n型超格子クラッド層16Aをn型コンタクト層としている。

【0183】前述したように、MQW活性層18からの生成光が基板11側に漏れないためには、n型光ガイド層17と空隙部12cとの間にアルミニウムを含む半導体層によって構成する必要がある。ところが、n型電極24を形成するためのn型コンタクト層にアルミニウムを組成が大いはいれたい（半導）層、例えば、n型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなる半導層を用いると、該半導層の低転

ウム系結晶を得る半導体の製造方法としても適用できる。さらに、第1の実施形態のように、基板11上にシード層12を設けないため、製造プロセスを簡略化できる。

【0166】また、本実施形態に係る低転位密度領域を有する強化物半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電子素子等の他の半導体素子を形成しても良い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりを実現できる。

【0167】（第3の実施形態）以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0168】図14は本発明の第3の実施形態に係る強化ガリウム系半導体レーザ素子の断面図を示している。図14において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0169】第1の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0170】シード層12の各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aに変化アルミニウムガリウム（AlGaIn）を用いる共に、n型AlGaInとn型GaNを含む超格子構造を持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層15を兼ねる構成を採る。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め効率を大きくしている。

【0171】図15は本実施形態に係る半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示している。また、図16は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザー光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示している。

【0172】第3の実施形態においては、シード層12の溝部12bの深さを約50nmとし、n型超格子クラッド層16Aの平均組成をAl_{0.07}Ga_{0.93}Nとされている。また、n型光ガイド層17から上の積層体の構成は、図37に示した従来の半導体レーザ素子と同等の構成としている。

【0173】図15から分かるように、本実施形態に係る半導体レーザ素子は基板11側への生成光の漏れがみられない。また、MQW活性層18への光の閉じ込め効率数は、図41に示した従来の半導体レーザ素子と同等であることを確認している。

【0174】これは、MQW活性層18が、シード層12の空隙部12cによって基板11と分離されている上に、n型超格子クラッド層16Aとシード層12との間に、光の屈折率がn型超格子クラッド層16Aよりも小さいか、同程度の屈折率を持つn型AlGaInからなる選択成長層14Aを設けていることによる。これにより、n型超格子クラッド層16Aと基板11との間に寄生的な導波路が形成されないため、MQW活性層18における光の閉じ込め効率値の生成光の漏れによる低下を抑制

ッド層16と基板11Aとの間に寄生的な導波路が形成されず、従って、生成光の漏れによるMQW活性層18の光の閉じ込め効率値が低下しないからである。

【0158】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部11cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部11bの深さ寸法に依存する。計算機シミュレーションによると、溝部11bの深さ寸法が少なくとも50nm程度であれば、基板11A側への光の漏れが實質的になくなることを確認している。

【0159】また、GaNからなるn型コンタクト層15にアルミニウムを2%以上添加すると、基板11A側への光の漏れをより効果的に抑制できることをも確認している。

【0160】また、本実施形態においては、基板11Aの凸部11aの頂面に生成される単結晶核として強化ガリウムを用いたが、他の強化ガリウム系の化合物、すなわち、Al_{0.5}Ga_{0.5}In_{0.5}N（但し、u, v, wは、0 ≤ u, v, w ≤ 1, u + v + w = 1である。）であればよい。混晶の場合は、該混晶の組成に応じてELO成長に最適な成長条件を選ぶことができる。

【0161】また、基板11Aにサブファイアを用いたが、サブファイアに代えて、例えば炭化ケイ素や強化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11Aに用いると、積層体30に引張り歪みが増加し、クラックが発生しやすくなるため、溝部11bの断面図で、クラックが小さくすることにより、n型コンタクト層15が一体化されたときの膜厚が2μm未満となるようにすることが望ましい。また、基板11Aに炭化ケイ素や強化ガリウムを用いる場合は、へき開はM面及びA面のいずれの面でも容易となるが、溝部11bのストライプ方向と直交する面へき開する方が歩留まりを高くできる。

【0162】また、基板11Aに溝部11bを形成する際に、RIE法によるドライエッチングを用いたが、溝部11bの底面及び壁面にダメージ層を形成し、強化ガリウム系半導体を選択成長させることができる方法であれば、他のドライエッチング方法、例えば、イオンミリング法を用いてもよい。

【0163】また、溝部11bのダメージ層をELO成長のためのマスク層としたが、析出した多結晶核がダメージ層に付着するような場合、特に、基板11Aに強化ガリウムを用いる場合には、選択性をより向上させるために、強化シリコン等からなるマスク膜を溝部11bの少なくとも底面に形成することが好ましい。

【0164】なお、マスク膜13は、強化シリコンに限らず、第1の実施形態に示した誘電体、非晶質の他、絶縁体でも良く、さらには、その第1の実施形態に示した高融点金属又は高融点金属化合物を用いることが好ましい。

【0165】以上説明したように、本実施形態に係る発明は、レーザ素子に関するが、転位密度が低い強化ガリ

cとを識別することが容易である。このため、フォトリソグラフィ法を用いたリッジ部31の位置決めを行なう際に、専用のアラメントパターンを用いる必要がない。

【0151】次に、積層体30のリッジ部31を含まない領域をマスクして、n型コンタクト層15を露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22上にリッジ部31を跨ぐと共にn型コンタクト層21の絶縁膜22からの露出領域上にn型電極23を形成する。また、n型コンタクト層15における絶縁膜22からの露出領域上にn型電極24を形成する。

【0152】次に、積層体30のM面、すなわち基板11Aをその上面でへき開することにより共振器端面を形成する。前述したように、サブファイアのA面はへき開が困難な結晶面であるが、基板11Aに空隙部11cを設けたことにより、へき開が所定の位置からずれた状態でサブファイア結晶が露出したとしても、この露出が積層体30に伝播しないため、共振器端面の近傍には良好なへき開面を容易に得ることができる。これにより、レーザ素子のへき開による歩留まりを高くすることができる。

【0153】次に、へき開した共振器の両端面に適當な反射率となるように誘電体膜等によってコーティングを施し、その後、リッジ部31に対して平行な側面でチップ状に分割して半導体レーザ素子を得る。

【0154】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、第1の実施形態で述べたように、ELO成長した領域における一様なサブアップフロー成長が観察される。このような平坦な表面はMQW活性層18を成長させる、インジウム（In）の局所的な偏析が起らない。その結果、MQW活性層18は高品質な結晶体となるので、レーザ素子の動作電流を低減することができる。

【0155】図13は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザー光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示しており、単峰性の良好な光強度分布が得られている。一方、第1の実施例に係る半導体レーザ素子は、図42に示したように、光強度分布が多峰性となる遠視野像を示す。

【0156】本実施形態に係る半導体レーザ素子に単峰性を得られるのは、積層体30と基板11Aとの間に空隙部11cが設けられることにより、積層体30と基板11Aとが光学的に互いに分離されているためである。

【0157】具体的に説明すると、図9に示すように、n型クラッド層16の下側には、該n型クラッド層16よりも光の屈折率が大いなりn型コンタクト層15が形成されているため、MQW活性層18で生成された生成光が基板11A側に漏れやすい。しかしながら、本実施形態においては、n型コンタクト層15の下側に、屈折率が極めて低い空隙部11cを設けているため、n型クラ

従来のELO法による成長機構と異なっている。

【0213】本実施形態においては、第1の選択成長層14BにGa_{0.95}Nを用い、第2の選択成長層14CにAl_{0.05}Ga_{0.95}Nを用いたが、第1の選択成長層14Bには、アルミニウムの組成が4%以下のAl_{1-x}Ga_xN、 $xN(x+y+z=1)$ からなる窒化物半導体であればよい。

【0214】以下、低屈折率を有する第2の選択成長層14Cを成長するよりも前に、シード層12を結晶とすると第1の選択成長層14Bを形成する目的を両面に基づいて説明する。

【0215】第3の実施形態で説明したように、基板面に対して垂直な方向の順モード増幅及びMQW活性層18への光の閉じ込め係数を大きくするのであれば、選択成長層を2層構造とする必要はない。

【0216】ところで、図20(b)に示すように、AlGa_{0.95}Nからなる選択成長層14Aにおいてアルミニウムの組成が4%を超える場合には、選択成長層14Aの成長方向の端面にうねり14dが生じる場合がある。選択成長層14Aの成長条件、例えば成長圧力、成長温度、又はH₂流量に対するV/III比等の調整は、成長層の成長速度を調整し、成長層のうねり14dの発生を極力小さくすることが好ましい。

【0217】本発明では、シード層12を結晶とすると選択成長層14Cには、アルミニウムの組成を小さくした窒化物半導体層を用いることが好ましいことを見いだしている。

【0218】具体的に、図20(a)に示すように、まず、アルミニウムの組成が4%以下の窒化ガリウム系半導体からなる第1の選択成長層14Bをシード層12の凸部12aの近傍に成長させ、その後、成長した第1の選択成長層14Bを結晶として、アルミニウムの組成が4%を超え、低屈折率を有する窒化ガリウム系半導体からなる第2の選択成長層14Cを成長する。これにより、第2の選択成長層14Cは成長端面にうねり14dを生じない良好なラテラル成長を行なえるようになる。

【0219】また、第2の選択成長層14Cは、そのアルミニウムの組成が大きい程、また、その成長時間が長いほど、マスク膜13上に多結晶41が析出しやすくなる。これはGa_{0.95}N結晶と比べてAlGa_{0.05}N結晶又はAlN結晶の蒸発速度が小さいためである。

【0220】図21(a)〜図21(d)に示すように、Ga_{0.95}Nからなる多結晶41が析出しにくい第1の選択成長層14Bを最初に成長させることにより、成長端面が接合するまでに要する第2の選択成長層14Cの成長時間を短くすることができ、

【0221】また、図21(c)第1の選択成長層14Bが単的に成長するため、マスク膜13上に供給される

野像を得ている。

【0204】これは、MQW活性層18が、シード層12の空腔部12cによって基板11と分離されている上、n型クラッド層16とシード層12との間に、光の屈折率が型クラッド層16より小さいか又は同等の屈折率を持つn型超格子層15A及び第2の選択成長層14Cを設けているからである。これにより、n型クラッド層16と基板11との間に著生的な導波路が形成されず、MQW活性層18における光の閉じ込め係数を低減し、基板11側への光の漏れを抑制できる。【0205】なお、本実施形態の場合は、計算機シミュレーションの結果、溝部12bの深さが少なくとも20nm程度であれば、基板11側への光の漏れを実質的に小さくすることができることを確認している。

【0206】また、第2の選択成長層14Cのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とする。これにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。【0207】以上の構成により、MQW活性層18への光閉じ込め係数は、図41の場合の約1.5倍となり、レーザのしきい値電流を低減できる。

【0208】次に、本発明に係る凸部12aの頂面を結晶とする選択成長法と、図38に示す、平坦なシード層をストライプ状にマスクする第2の従来例の選択成長法との成長機構の相違点を説明する。

【0209】図19(a)は、第4の実施形態に係る選択成長機構を模式的に表わしており、図19(b)は第2の従来例に係る選択成長機構を模式的に表わしている。

【0210】よく知られているように、分子等からなる反応種が所望の結晶面に成長するまでは、結晶の表面やマスキングの表面上において、反応種が吸着、拡散、面やマスキングの表面上に吸着した原子は結晶表面の上Ga_{0.95}Nからなる結晶表面に吸着した原子は結晶表面の上面であるテラス上に拡散する。また、表面に吸着された原子はステップと呼ばれるテラス上の段差部で結晶化する。

【0211】図19(b)に示すように、従来のELO成長の場合においても、マスク膜403上で同様のプロセスを繰り返す。すなわち、マスク膜403上を拡散した原子は、Ga_{0.95}Nからなる半導体層404の表面に吸着する。このとき、マスク膜403を構成するシリコン又は酸素が、水素やフッ素の還元作用によって分解されて、不純物として半導体層404に取り込まれることにより、半導体層404の結晶性が劣化する。

【0212】これに対して、図19(a)に示すように、本実施形態においては、マスク膜13上を拡散したGa_{0.95}Nからなる第1の選択成長層14Bに取り込まれる原子は、第1の選択成長層14Bの下層に結晶が成長し得ないためである。このように、マスク膜13上の反応種の結晶成長への寄与が従来のELO法と異なっており、このことから、本発明の成長機構は

部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。【0194】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0195】第3の実施形態に係るAlGa_{0.95}Nからなる選択成長層14Aを、図18に示すように、シード層12の凸部12aの頂面に形成されたGa_{0.95}Nからなる第1の選択成長層14Bと、第1の選択成長層14Bの上及び側方を覆う、AlGa_{0.95}Nからなる第2の選択成長層14Cとの2層構造としている。

【0196】また、n型超格子層を兼ねるn型超格子層16Aを、n型超格子層15Aと単層のAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn型クラッド層16との2層構造としている。ここでは、n型超格子コンタクト層15Aの構成を、n型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nとn型Ga_{0.95}Nとからなる超格子構造としている。

【0197】また、積層体300の上部におけるリッジ部31には、該リッジ部31の上面にのみp側電極23を形成し、該p側電極23及びリッジ部31を覆うようにp側電極25が形成されている。同様に、n側電極24上には該n側電極24を覆うn側電極26が形成されている。

【0198】以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法を説明する。

【0199】まず、シード層12の各凸部12aの頂面を結晶として成長する複数の第1の選択成長層14Bを成長させる。続いて、各第1の選択成長層14Bを結晶として成長する第2の選択成長層14C同士が接合して一体化するまでは、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長圧力を200 Torr程度と比較的低く設定している。

【0200】これは、減圧状態とする程、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長速度が、基板面に垂直のC軸方向と比べて、シード層12のA軸方向、すなわち、溝部12bを横切る方向の方が大きくなるからである。

【0201】これに対して、MQW活性層18は成長時の圧力を300 Torr程度に高くして行なう。これは、成長圧力を高くした方が、蒸気圧が高いインジウムを蒸発を抑制でき、MQW活性層18の結晶品質を高くしやすいためである。従って、積層体300を形成する際には、第1及び第2の選択成長層14B、14Cと成長圧力を変更することになる。

【0202】このように、連続する窒化物半導体の成長工程において、成長圧力を変更するには、稼働中に成長圧力を変更可能な1つの結晶成長炉を用いても良く、また、それぞれの成長圧力に設定された別々の結晶成長炉を用いても良い。

【0203】第4の実施形態に係る半導体レーザ素子は、第3の実施形態と同様に、図15に示した屈折率分布及び光強度分布を示し、図16に示した出射光の選

率が窒化ガリウムと比べて2倍程度に増えたり、さらにコンタクト抵抗が増えたりして、レーザ素子の駆動電圧が増大してしまう。

【0184】本発明者らは種々検討を重ねた結果、例えば、n型Al_{0.14}Ga_{0.86}Nとn型Ga_{0.95}Nとからなるn型超格子層16Aの比抵抗は単層のn型Ga_{0.95}N型の比抵抗とほぼ同等となるという知見を得ている。これは超格子半導体層に生成される2次元電子ガスの移動度が大きいためである。さらに、本発明者らは、超格子を構成する単位層の厚さを十分に小さく、例えば2nm程度とすることにより、コンタクト抵抗が型Ga_{0.95}N層と同程度とできるという知見も得ている。このとき、n型不純物のドーピング濃度を1×10¹⁸ cm⁻³程度としている。

【0185】これにより、AlGa_{0.95}NとGa_{0.95}Nとを超格子構造とすることにより、AlGa_{0.95}Nの低屈折率を生かしながら、同時に低抵抗化をも実現でき、低電圧を確実に達成できる。

【0186】なお、超格子層は、アルミニウムの平均組成が2%で且つ厚さがλ/(4n)以下が好ましい。ここで、λは光の波長であり、nは単位層の屈折率である。

【0187】さらに、本実施形態によると、図17に示す選択成長層14Aの低屈折率領域14cは、原子間力顕微鏡(AFM)による測定によって、一様なステップフロー成長が確認されており、表面は良好な平坦性を有している。その結果、インジウムを含むMQW活性層18の成長時に、インジウムの局所的な偏析が生じにくくなるので、しきい値電流を低減することができる。

【0188】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。【0189】また、シード層12の上部の凸部12aの形成にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。

【0190】また、マスク膜13は、空腔部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0191】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンダステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いるとよい。

【0192】(第4の実施形態) 以下、本発明の第4の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0193】図18は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図18において、図1に示す構成部材と同一の構成

51

【0257】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0258】図27に示すように、サブファイアからなる基板111には、第1のシード層12A及び第2のシード層12Bが設けられている。

【0259】第1のシード層12Aの上面には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが基板111の上面に対して平行に、すなわち、積層体30の上面に対して平行に設けられている。同様に、第2のシード層12Bの上面には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが、第1のシード層12Aの凸部12a及び溝部12bと平行で且つ基板面に垂直な方向で重ならないように設けられている。

【0260】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0261】図28(a)、図28(b)～図31は本発明の第6の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法であって、基板の上面における工程順の断面構成を示している。

【0262】まず、図28(a)に示すように、MOVPE法により、C面を主面とする基板111上に、基板温度を約530℃に設定し、例えば圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、III族元素のTMGと、窒素族のNH₃とを供給して、Ga_{0.4}Nからなる低温パツア層を堆積する(図示せず)。続いて、基板温度を約970℃に設定し、TMG、NH₃及びSi₃H₈を基板111上に供給することにより、厚さが0.5μm～1.4μm程度のn型Ga_{0.4}Nからなる第1のシード層12Aを成長させる。このとき、第1のシード層の上面はC面となっており、転位密度は10⁹cm⁻²台である。

【0263】次に、図28(b)に示すように、第1のシード層12A上にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法により、ストライプ方向が第1のシード層12AのM軸方向と一致するパターンニングを行なう。レジストパターン40を形成する。続いて、レジストパターン40をマスクとして、第1のシード層12Aに対してドライエッチングを行なうことにより、第1のシード層12Aの上面に、断面幅が約3μm～6μmの凸部12aと断面幅が約12μm～24μmの溝部12bとを一周間とすると同様の構造を形成する。このとき、溝部12bの深さを50nm～1μm程度としている。

【0264】次に、図29(a)に示すように、ECRスパッタ法を用いて、第1のシード層12Aにおける溝部12bの底面及び壁面と第2のシード層12Bの上面に、窒素と窒素族元素との同様の構造を形成する。このとき、窒素族元素は、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用い

52

【0265】次に、図29(b)に示すように、レジストパターン40に対してリフトオフを行なう。レジストパターン40及びその上のマスク膜13を除去する。なお、マスク膜13は、溝部12bの壁面の全面を覆っていても良く、壁面の一部を覆っていても良い。

【0266】次に、図30(a)に示すように、再度MOVPE法を用いて、例えば圧力が約100Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃にまで昇温した後、TMG、NH₃及びSi₃H₈を第1のシード層12Aの上面に供給することにより、第1のシード層12Aのマスク膜13から露出した領域を堆積品として、n型Ga_{0.4}Nからなる第2のシード層12Bを成長させる。このとき、第2のシード層12Bは、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部12bの側面から成長してきた結晶同士が互いに向かい合う側面から成長して、複数の凸部12aの頂面から成長する各結晶同士が互いに向かい合う側面から成長する。このとき、第2のシード層12Bの厚さは、溝部12bの幅に等しい程度である。

【0267】第2のシード層12Bにおける接合部12eを除く選択成長領域では、転位密度が約1×10⁶cm⁻²程度の真直度で成長される。このとき、接合部12eでは、C面内に平行な転位密度が約4×10⁷cm⁻²の結晶転位が観測される。

【0268】また、第2のシード層12Bにおける凸部12aの上側部分のC軸と空層部12c上の領域のC軸とのチャル角は0.01度～0.03度である。

【0269】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチャル角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶である第2のシード層12Bが第1のシード層12Aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0270】なお、接合部12eの下側に、空層部12c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

【0271】さらに、本実施形態においては、第2のシード層12Bの選択成長を行なう際に、溝部12bの底面上に多結晶が析出したとしても、第1のシード層12Aの上面に設けた凸部12a及び溝部12bにより形成される段差によって多結晶が第2のシード層12Bと接触しないため、レーザ構造を含む積層体30の結晶品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低

53

減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0272】次に、図30(b)に示すように、成長した第2のシード層12Bの上面に、凸部12a及び溝部12bを一周間とする周期構造を、第1のシード層12Aと同様の方法で形成する。このとき、第2のシード層12Bの凸部12aを、その傾斜の位置が第2のシード層12Bの底面領域の上面に位置するように形成することにより、すなわち、第2のシード層12Bの凸部12aの底面の位置が、第1のシード層12Aの凸部12aの頂面の位置と基板面方向に異なり且つ接合部12eの側方領域に形成する。

【0273】これにより、第2のシード層12Bにおける、第1のシード層12Aの空層部12c上に位置する低転位密度領域を堆積品として、2回目のELO成長を行なえるようになる。なお、窒化ガリウム系結晶は可視光によって透明であるため、光学顕微鏡により凸部12aと溝部12bとを容易に識別することができ、フォトリソグラフィ法によるストライプパターンを持つ凸部12aの位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要はない。

【0274】次に、図31に示すように、MOVPE法を用いて、例えば、圧力が約100Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃とし、第2のシード層12Bの上面に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現れたC面を堆積品として、n型AIGaNからなる主面がC面からなる選択成長領域14Aを一体化させるまで成長させる。これにより、選択成長領域14Aは周期的に形成される接合部14aを除くすべてに、MQW活性層18は基板成長が400nmと小さくなる。

【0275】続いて、圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約970℃とし、一体化された選択成長領域14Aの上面に、n型超格子クラッド層16A、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。ここで、MQW活性層18は基板成長が400nmと小さくなるレーザ発振を得るために、例えば、厚さが約4nmのGa_{0.4}In_{0.6}Nからなる井戸層と障壁層が約6nmのGa_{0.4}Nからなるバリア層とにより構成されている。

【0276】その後、図27に示すように、ドライエッチング法により、p型クラッド層20の上面及びp型コンタクト層21に対して、MQW活性層18に選択的に電流を注入する。幅が2μm～5μmのリング部31を積層体30のA軸方向、すなわち凸部12aのストライプ方向と直交する方向に形成する。

【0277】続いて、積層体30におけるリング部31を含む領域に対してドライエッチングを行なう。n型超格子クラッド層16Aを露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22

54

における、リング部31の上面の領域及びn型超格子クラッド層16Aの上面の領域にそれぞれ開口部を設けた後、蒸着法又はスパッタ法等により、リング部31における絶縁膜22の開口部から露出領域上及びリング部31の周辺部上にp型絶縁膜23を形成し、n型超格子クラッド層16Aの絶縁膜22から露出領域上にn型絶縁膜24を形成する。

【0278】次に、絶縁膜30の上面、すなわちサブファイアからなる基板111の上面でへき開することにより、共振器端面を形成する。サブファイアのM面はへき開が容易であり、半導体レーザ素子のへき開の歩留まりを良好に維持できる。なお、基板111と積層体30との間には、へき開面と平行に行なわれる波長で且つ2段構成の空層部12cが存在するが、これらの空層部12cによってへき開の歩留まりが低下することはない。

【0279】次に、へき開した両端面に適當な反射率を得られるように誘電体等によりコーティングを施し、チップ状に分離して図27に示す半導体レーザ素子を実現できる。

【0280】第6の実施形態に係る半導体レーザ素子は、MQW活性層18を含む積層体30のA軸方向に形成された共振器と、選択成長により形成されるM軸方向に延びるストライプ状の空層部12cとが直交するように設けられていることを特徴とする。

【0281】但し、このようにすると、図31から分かるように、MQW活性層18のリング部31の長軸方向である電流注入領域は、各半導体層の接合部14aを横切ることになる。その結果、接合部14aに集中する電位がレーザ素子の動作に影響を与える感がある。ところが、MQW活性層18の内部の転位を制御すると、真直な転位は接合部14aと空層部12cの内部に面内平均的に約1×10⁶cm⁻²の密度で存在することを確認している。従って、電流注入領域が接合部14aを横切ることは半導体レーザ素子の信頼性に悪影響を与えることはない。

【0282】また、結晶である第2のシード層12Bと選択成長領域14Aとの間でC軸にチャル角が存在すると、A軸方向に形成された共振器の場合は、基板面に垂直な方向にうねるジグザグ導波路となつて導波損失を招く。その結果、レーザ素子の動作電流が増加する。したがって、図38に示すような従来のELO成長法を用いて製造したレーザ素子ではチャル角が0.1度以上もあり、例えば空層部12cの幅が12μm以下とすれば、高転位が10nm以上のジグザグ導波路となるため、レーザ素子の動作電流が増加する。

【0283】一方、チャル角が0.05度以下であると、高転位は5nm程度に抑えられるため、ジグザグ導波路の影響をほとんど無視できる。本実施形態において、明のレーザ素子では空層部12cを形成しながら成長するラテラル成長により、チャル角を0.03度以下に抑えることができるので、ジグザグ導波路の発生を防

領域に形成することが半導体レーザ素子の特性の向上を
図る上で必須となる。
【0309】図36(a)は増幅のリッジ部31のう
ち、電流注入用として適当なリッジ部31を示した例で
ある。○印を付したリッジ部31は、凸部12aと被合
部14aとの間にあって、最も電流密度が低い領域に位
置している。これは逆に、×印を付したリッジ部31
は高電流密度領域上に位置している。
【0310】従って、図35に示した、n型コンタクト
層15を露出するエッチング工程において、○印を付し
たリッジ部31を電流注入用のリッジ部31Aとして残
しておく必要がある。
【0311】そこで、本実施形態においては、図36
(b)に示すように、リッジ部31Aとダミーリッジ部
31Bとを容易に11つ順次に選択できるように、以下の
ような方法を探る。
【0312】あらかじめ、第2の形成段階(パターン
B)を持つリッジ部31A及びダミーリッジ部31Bを
区別できるように番号等を付けておく。ここでは、番
号2を付したリッジ部31を電流注入用のリッジ部31A
とする。
【0313】一方、ウエハ上には、リッジ部31ごとに
付された番号と対応するように、例えば、基板11上に
おけるレーザ素子同士の間のへき間領域等に、合マ
ーク(=アライメントパターン)を設けておく。本実施
形態の場合は、第1の形成段階(パターンA)と第2の
形成段階(パターンB)との間は2μmであるため、パ
ターンBを8回繰り返す、互いに近接するリッジ部31
と凸部12aとの互いの位置関係が同一となる。従っ
て、少なくとも8個の合マークを用意すれば、番号
1〜8の間には、○印を付すことができるリッジ部31
が少なくとも1つ存在することになる。
【0314】従って、図35に示したエッチング工程に
おいては、一例として、積層体30における番号3のダ
ミーリッジ部31Bと番号4のダミーリッジ部31Bと
の間の領域に、フォトマスクの境界を合わせれば、電流
注入用のリッジ部31Aを形成することができる。
【0315】また、p側電極3を形成する際に絶縁膜
22に対して開口部を形成するエッチングの際にも、番
号2が付されたリッジ部31Aを容易に認識できる。
【0316】なお、レーザ素子のチップ幅は約300μ
m〜500μmであるため、番号1〜8の第3の周期が
1回でなく、2、3回現れる。
【0317】さらに、シード層12と選択成長層14と
の間にストライプ状の増幅部12cが形成されているこ
とによる、マスクの位置合わせ時に生じる効果について
説明する。この効果は、シード層12の上部に設けた増
幅部12c同士の間の凸部12aの頂面をELO成長の
核結晶に用いることから生じている。すなわち、方位角
少ないリッジ部31を選択するには、光学顕微鏡等を用

マスク膜13は、溝部12bの壁面を覆っていてもよ
く、覆ってなくてもよい。
形態と同様に、シード層12の上に、マスク膜13から
露出する凸部12aの頂面に現れるC面を核結晶とし
て、選択成長層14及び積層体30を順次成長させる。
【0303】次に、図34に示すように、p型クラッド
層20の上部及び型コンタクト層21に対して、断面
幅が約3μmで、周期が18μmの第2の形成段階を持
つリッジ部31A及びダミーリッジ部31Bを形成す
る。ここでは、電流注入用のリッジ部31Aは、空腔部
12cの上方で且つ被合部14aと重ならない領域、す
なわち、結晶方位が少ない低電流密度領域に形成する。
その後、ECCRスパッタ法により、アルゴン等を源気と
し、金属アルミニウム及び電線素を原料として、リッジ部
31A及びダミーリッジ部31Bの側面及びその間の傾
斜を酸化アルミニウム(AIN)からなる絶縁膜35で
覆う。
【0304】次に、図35に示すように、積層体30に
おけるリッジ部31Aを含まない領域に対して、ドライ
エッチングを行なって、n型コンタクト層15を、n型
クラッド層16によるダミーリッジ部31が形成される
からなる絶縁膜22を堆積する。
【0305】次に、図32に示すように、四酸化炭素
(CF₄)を用いた反応性イオンエッチング(RIE)
により、絶縁膜22における、リッジ部31Aの上側及
び側方部分、並びにn型コンタクト層15における1つ
のダミーリッジ部31Bの上側及び側方部分にそれぞれ
開口部を設ける。その後、リッジ部31A及びその側方
における絶縁膜22の開口部からの露出領域上にp側電
極23を形成すると共に、n型コンタクト層15の上に
おけるダミーリッジ部31B及びその側方における絶縁
膜22の開口部からの露出領域上にn側電極24を形成
する。なお、絶縁膜22におけるリッジ部31Aの上側
及び側方部分を除去する際に、絶縁膜22の下側に形成
されている絶縁膜35も多少はエッチングされるが、注
入電流に対する電流密度及び水平偏モード制御に影響が
ない程度であれば集積してもよい。
【0306】以上のようにして得られた半導体レーザ素
子は、厚さが約9nmのGa_{0.8}In_{0.2}Nからなる井
構と厚さが約6nmのGa_{0.8}Nからなるバリア層とから
構成されたMQW活性層18により、波長が約403nm
のレーザ発振を起こす。
【0307】以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子
の製造方法の概略であるリッジ部31A及びダミーリッ
ジ部31Bと凸部12aとの位置合わせ方法を図面に基
づいて説明する。
【0308】前述したように、図32において、電流注
入用のリッジ部31Aは積層体30における低電流密度

2aにおけるマスク13により覆われていない領域のう
ちのC面を核結晶として、空腔部12cが形成される方
法であればよい。
【0293】また、マスク膜13は、酸化シリコンに限
らず、第1の実施形態及びその第1の変形例に示した誘電
体、非晶質の絶縁膜、高融点金属又は高融点金属化合物を
用いることが好ましい。なお、誘電体膜の堆積にはECC
スパッタ法を用いることにより、低歪で良質のマスク
膜13を得ることができる。
【0294】また、本実施形態に係る低電流密度領域を
有する酸化半導体層を用いることにより、光素子に
限らず、電子素子等の他の半導体素子形成しても良
い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まり
とを達成できる。
【0295】(第7の実施形態) 以下、本発明の第7の
実施形態について図面を参照しながら説明する。
【0296】図32は本発明の第7の実施形態に係る窒
化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示してい
る。図32において、図1に示す構成部材と同一の構成
部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。
【0297】図32に示すように、第7の実施形態に係
る半導体レーザ素子は、シード層12の上部に設けられ
たELO成長用の核結晶となり且つ第1の形成段階を持
つストライプ状の凸部12aと、積層体30の上部に設け
られ、電流注入用の1つのリッジ部31A及び該リッ
ジ部31Aの位置合わせ用の複数のダミーリッジ部31
Bとを有している。これらリッジ部31A及びダミーリ
ッジ部31Bは、凸部12aと同一の方向に延び、且
つ、第1の形成段階と異なる第2の形成段階を持つよう
に形成されている。
【0298】以下、前記のように構成された半導体レー
ザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明す
る。
【0299】図33〜図35は本発明の第7の実施形態
に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成
を示している。
【0300】まず、図33に示すように、MOVPE法
を用いて、第1の実施形態と同様に、第1のサファイア
からなる基板11上にGa_{0.8}Nからなるシード層12を成
長し、レジスト膜を用いたフォトリソグラフィ法及びド
ライエッチング法により、成長したシード層12の上部
に、リッジ部31Aの断面幅を約12μmと形成する。こ
こでは、一例として、凸部12aの断面幅を約4μmと
し、溝部12bの断面幅を約12μmとして、第1の形
成段階を16μmとしている。
【0301】次に、ECCRスパッタ法を用いて、凸部1
2aが形成されたシード層12の上に完全にわたって、
酸化シリコンからなるマスク膜13を堆積し、続いて、
レジスト膜をリフトオフすることにより、凸部12aの
少なくとも頂面をマスク膜13から露出する。ここで、

止できる。
【0284】また、選択成長層14Aにおけるラテラル
成長した領域において、一様なステップアップ成長を現
察している。このような平坦な表面上にMQW活性層1
8を成長すると、インジウム局所的な偏析が起こら
ず、均質なMQW活性層18を得られるので、動作電流
の低減を図ることができる。
【0285】また、本実施形態に係る半導体レーザ素子
における基板面に垂直な方向の透視像は図16に示す
グラフと同等であって、単峰性で良好な光強度分布を得
られている。
【0286】これは、第3の実施形態と同様に、第2の
シード層12Bの各凸部12aの頂面に成長して一体
化された選択成長層14Aにn型AlGaInを用いる共
に、n型AlGaInとn型GaInとを含む超格子構造を
持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層を
兼ねている。これにより、MQW活性層18の光の閉じ
込め係数値が大きくなり向上するからである。
【0287】前述したように、選択成長層14Aのアル
ミニウムの組成は、2%以上、好ましくは4%以上とす
ると、光の基板11側への漏れを確実に防止することが
できる。
【0288】なお、本実施形態においては、第1及び第
2のシード層12A、12BにGa_{0.8}Nを用いたが、一般
式Al_uGa_vIn_wN(但し、u、v、wは、0≦
u、v、w≦1、u+v+w=1である。)からなる窒
化ガリウム系組成、特にAlGaIn又はGaIn等を
用いると良く、混晶の組成に応じてラテラル成長に最適
な成長条件を選ばない。
【0289】また、第1のシード層12Aは、低歪ベッ
ク層を介して形成したが、第1のシード層に単結晶が
得られる方法を用いればよい。
【0290】また、基板11にサファイアを用いたが、
サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレ
ート(NGO)又は酸化ガリウム等を用いてもよい。但
し、炭化ケイ素を基板11に用いると、積層体30に引
き張り歪みが加わり、クラックが発生しやすいため、溝
部12bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、
第2のシード層12Bが一体化されたときの膜厚が2μ
m未満となるようにすることが望ましい。このようにす
ると、2回の選択成長及び積層体30の成長を行なった
後でも積層体30にクラックが生じない。
【0291】このため、基板11の材料に無関係に3回
以上の選択成長は希望であり、さらに、歪みに起因
する新たな不具合を生じるので好ましくない。
【0292】また、第1及び第2のシード層12A、1
2Bの各上部の凸部12aを形成する際にフォトリソグ
ラフィーを用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該
溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法
であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部1

59

いて上方から観察する際に、積層体30における低密度領域を特定できなくてはならない。本実施形態においては、図32に示すように、空腔部12cによって、観察光の屈折率が大きくなるため、凸部12aと低密度領域の位置が明確となるので、凸部12aと接合部14aとの間に位置する電流注入用のリッジ部31Aの候補となるリッジ部31を容易に且つ確実に区別できるようになる。その結果、フォトリソグラフィ工程におけるマスクの位置合わせが容易となり、フォトリソグラフィ工程のスループットを向上でき、

【0318】なお、本実施形態においては、凸部12aの第1の形成周期と、リッジ部31の第2の形成周期とをいずれも一定の周期としたが、必ずしも一定である必要はなく、各形成周期が互いにずれないように構成できればよい。例えば、各形成周期が等差数列を満足するような数列群を構成していてもよい。

【0319】また、絶縁膜35に窒化アルミニウムを用い、絶縁膜22に酸化シリコンを用いたが、絶縁膜22のエッチングの際に、絶縁膜35に対してエッチング選別が十分に大きければ良く、これらの代わりに、例えば、絶縁膜35が酸化シリコンで且つ絶縁膜22が窒化シリコンであってもよい。また、絶縁膜22に対するエッチングはウエットエッチングでもドライエッチングでもよい。

【0320】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジウムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0321】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンクシステム等の融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0322】また、シード層12の上部の凸部12aを形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成できる方法であればよい。

【0323】また、本実施形態に係る、互いに間隔が異なる2種類の周期誘電体を用いる方法は、従来のELO成長法等にも適用できる。

【0324】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体の製造方法による、ELO成長する選択成長層が、ELO成長時のマスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなると、選択成長層及びその上に成長する積層体の結晶の品位が向上する。従って、本発明の窒化物半導体を用いた窒化物半導体素子の動作特性及び信頼性を向上できる。

【0325】また、マスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるための凸部同士の間を壁面とする空腔部により、光閉じ込め係数値を向上でき、

【0326】また、空腔部を設けることにより、共振器端面を自然形成でき、共振器端面をへき間面としなくとも済み、また、選択成長層の結晶成長軸のチルトを低

減でき、マスクの位置合わせをも容易に行なえるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図2】(a)及び(b)は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図3】(a)及び(b)は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的な断面図である。

【図6】(a)～(d)は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図7】本発明の第1の実施形態の第1変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の室温におけるフォトリソセスを、第1の実施形態と比較した結果を示すグラフである。

【図8】本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図9】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図10】(a)及び(b)は本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図12】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図13】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における選択成長層を示すグラフである。

【図14】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図15】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図16】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における選択成長層を示すグラフである。

60

【図17】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体30を形成する前の選択成長層の光強度分布による平面写真と、それと対応する構成断面図である。

【図18】本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図19】(a)は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長層を2段階で形成する効果を示す部分的な断面図である。(b)は長機軸を模式的に表わした断面構成図である。(b)は第2の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長層機構を模式的に表わした断面構成図である。

【図20】(a)は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法において選択成長層を2段階で形成する効果を示す部分的な断面図である。(b)は比較用であって、窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の側面にうねりが生じる様子を示す部分的な断面図である。

【図21】(a)～(d)は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図22】本発明の第5の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図23】本発明の第5の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示し、図22のXXIII-XXIII線における構成断面図である。

【図24】本発明の第5の実施形態の第1変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図25】本発明の第5の実施形態の第2変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図26】本発明の第5の実施形態の第3変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図27】本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のA面、すなわち基板のM面における構成断面図である。

【図28】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図29】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図30】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図31】本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

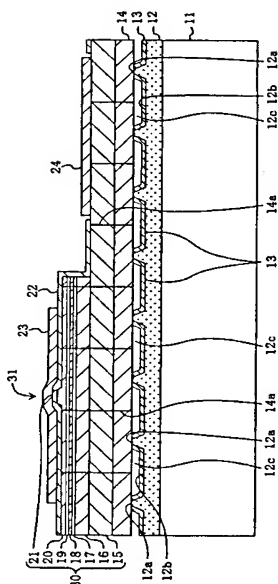
【図32】本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図33】本発明の第7の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

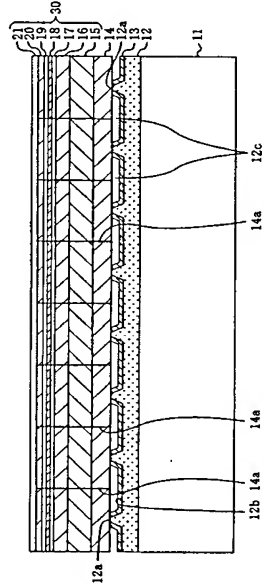
【図34】本発明の第7の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

- | | | | |
|-----|-----------------|-----|----------|
| 14c | 低転位密度領域 | 22 | 絶縁膜 |
| 14d | うねり | 23 | p側電極 |
| 14A | 選択成長層 | 24 | n側電極 |
| 14B | 第1の選択成長層 | 25 | p側配線電極 |
| 14C | 第2の選択成長層 | 26 | n側配線電極 |
| 15 | n型コンタクト層 | 30 | 積層体 |
| 15a | 接合部 | 31 | リッジ部 |
| 15A | n型超格子コンタクト層 | 31A | リッジ部 |
| 16 | n型クラッド層 | 31B | リッジ部 |
| 16A | n型超格子クラッド層 | 10 | 32 |
| 17 | n型ガイド層 | 34 | 選択成長シート層 |
| 18 | 多量子井戸 (MQW) 活性層 | 35 | 絶縁膜 |
| 19 | p型ガイド層 | 40 | レジストパターン |
| 20 | p型クラッド層 | 41 | 多結晶体 |
| 21 | p型コンタクト層 | | |

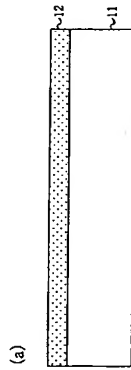
【図1】



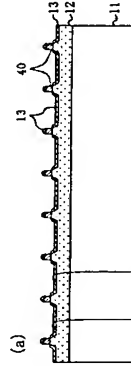
【図4】



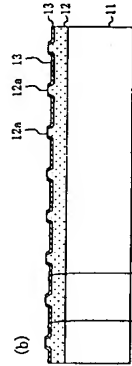
【図2】



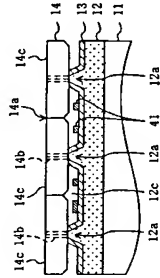
【図3】



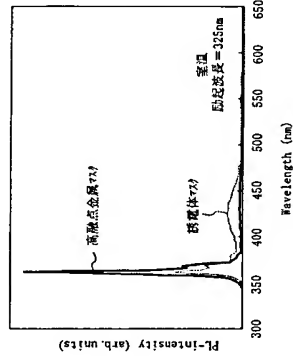
(b)



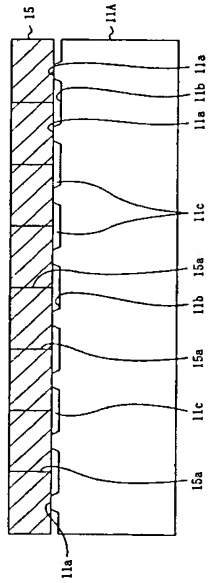
【図5】

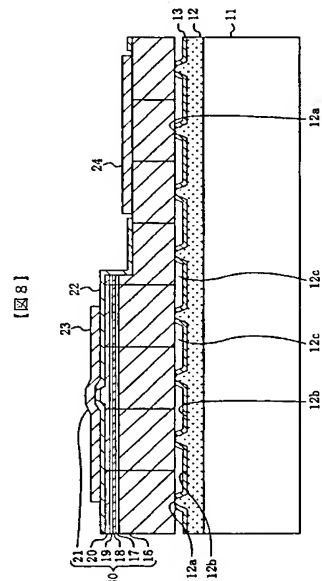
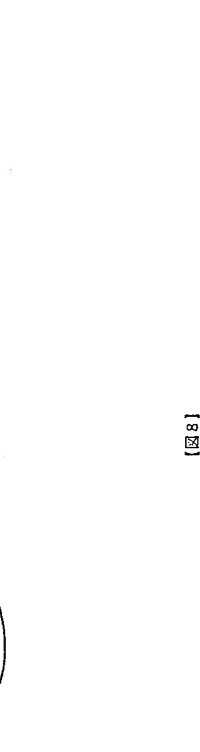
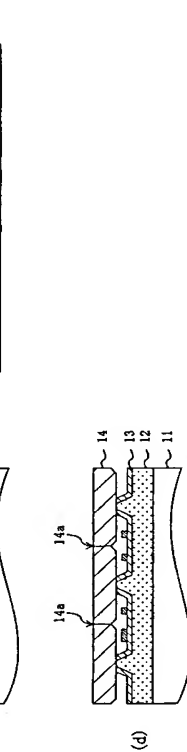
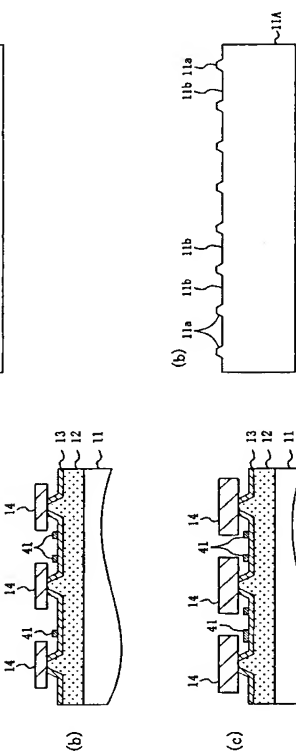
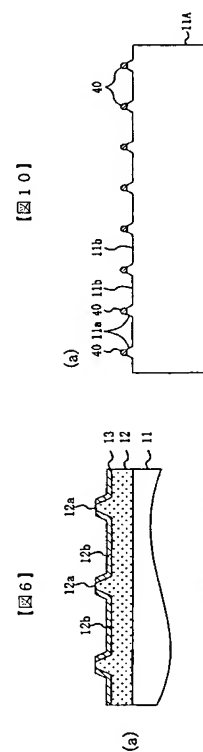
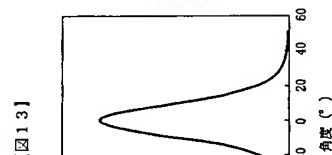
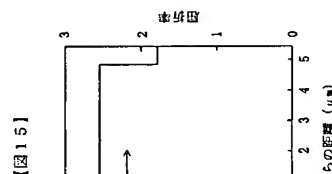
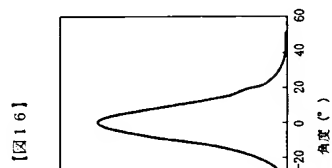
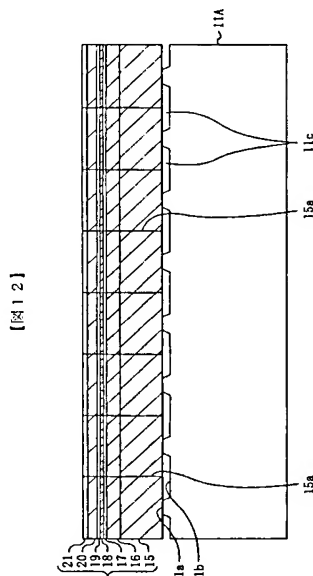
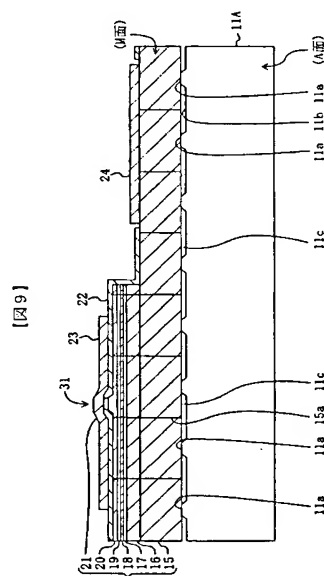


【図7】

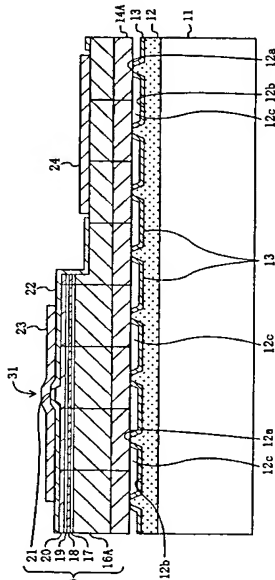


【図11】

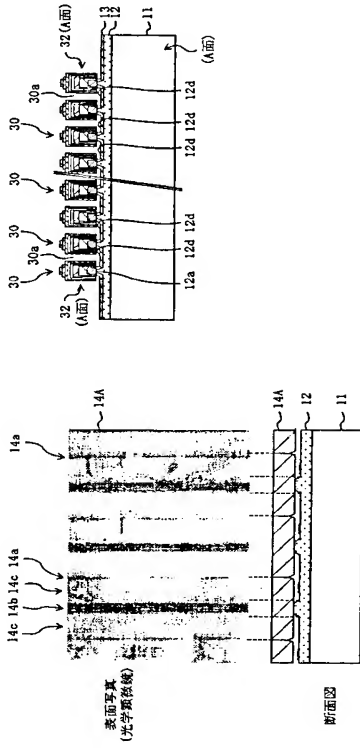




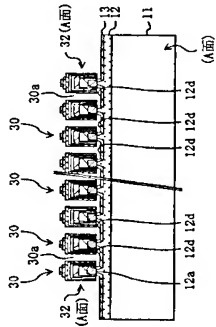
【図14】



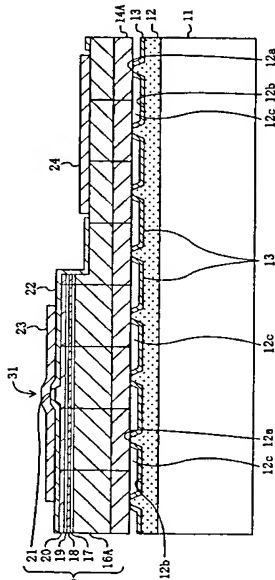
【図17】



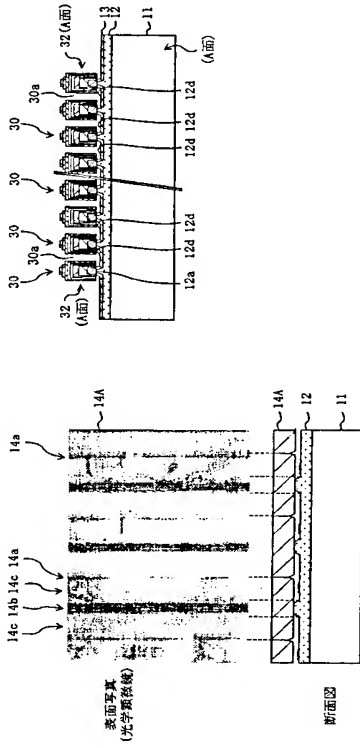
【図25】



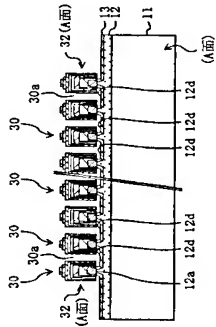
【図14】



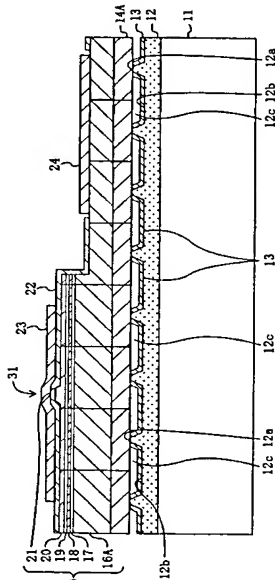
【図17】



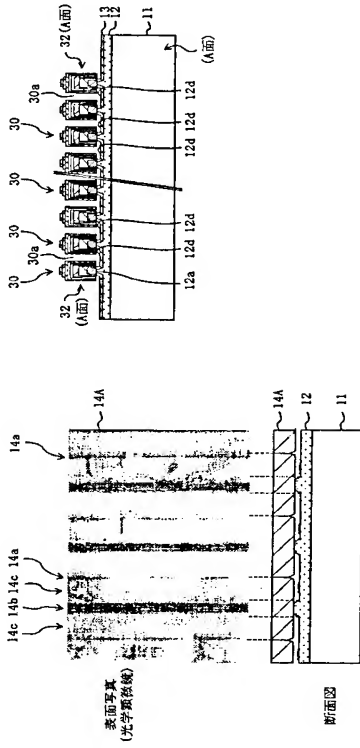
【図25】



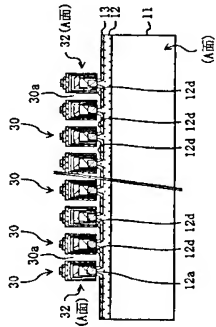
【図14】



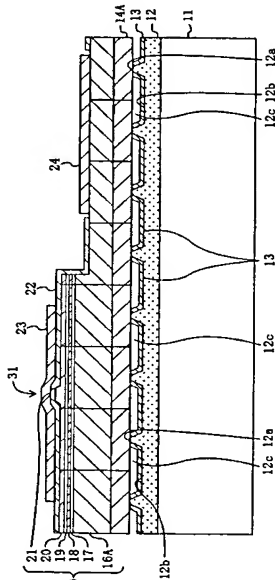
【図17】



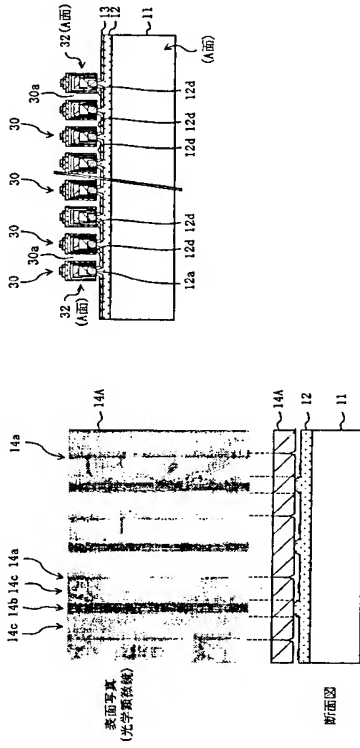
【図25】



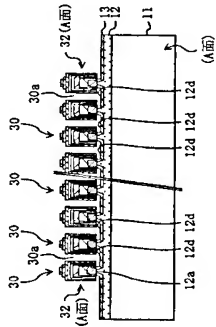
【図14】



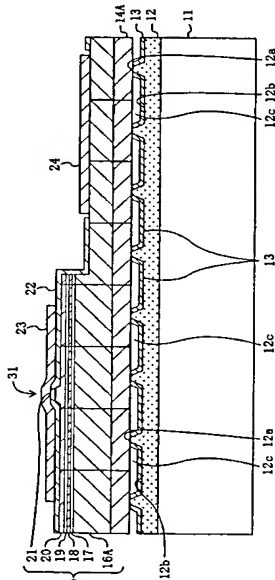
【図17】



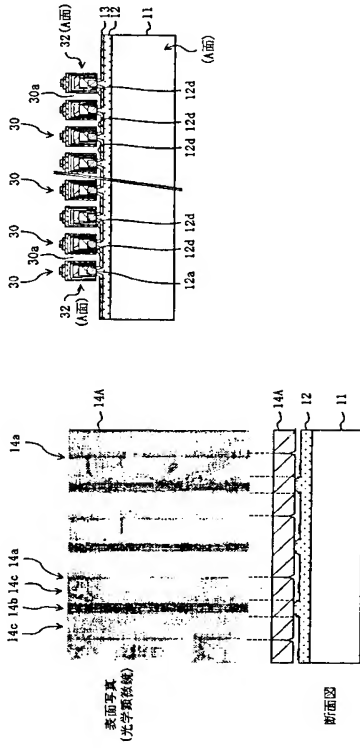
【図25】



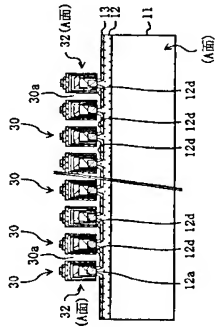
【図14】



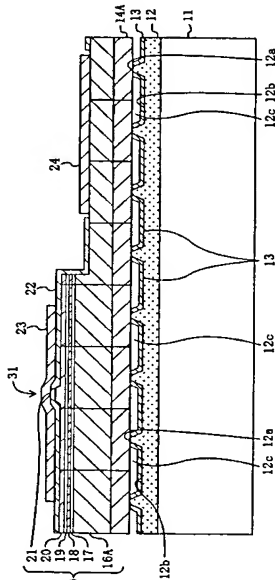
【図17】



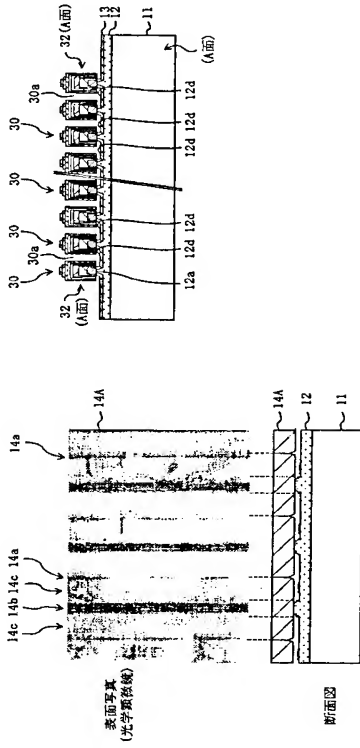
【図25】



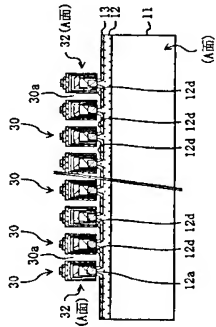
【図14】



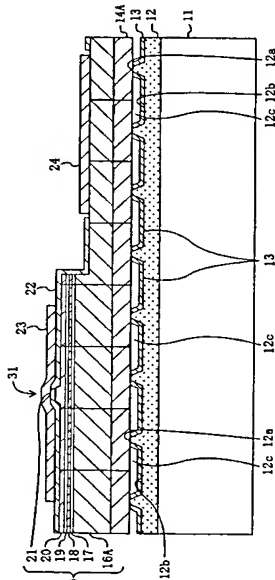
【図17】



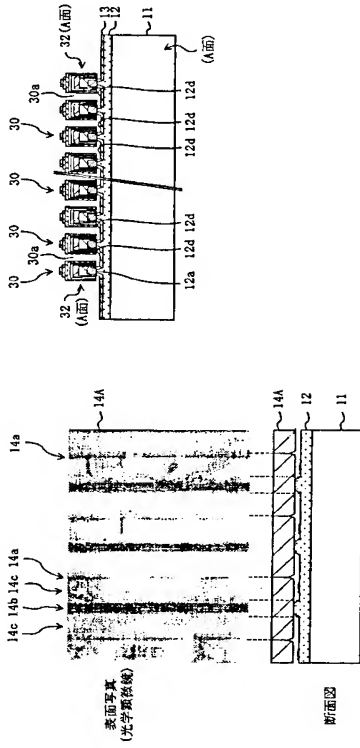
【図25】



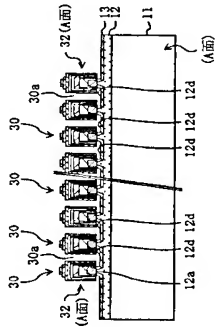
【図14】



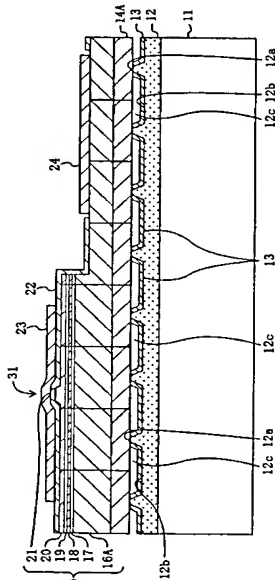
【図17】



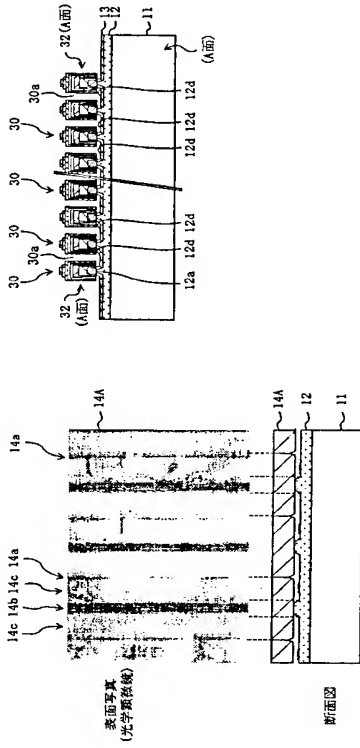
【図25】



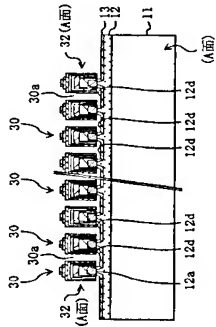
【図14】



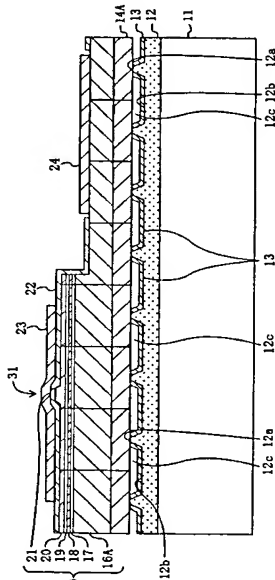
【図17】



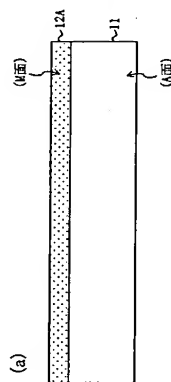
【図25】



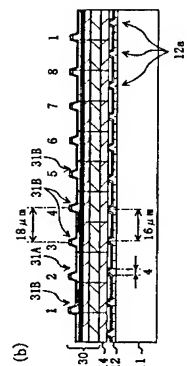
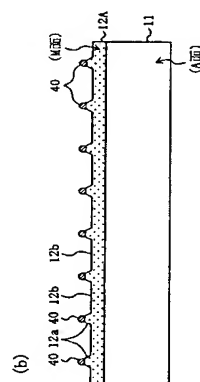
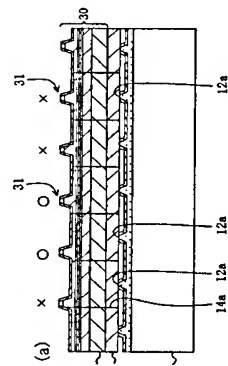
【図14】



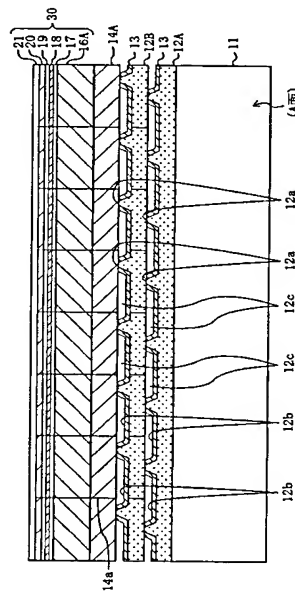
【図 28】



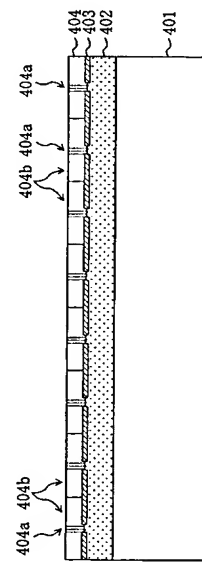
【図 36】



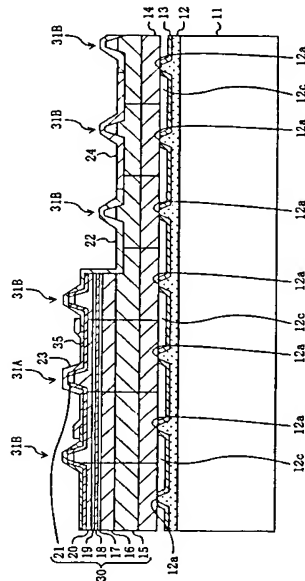
【図 31】



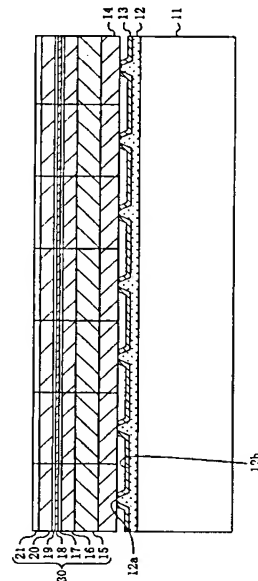
【図 38】



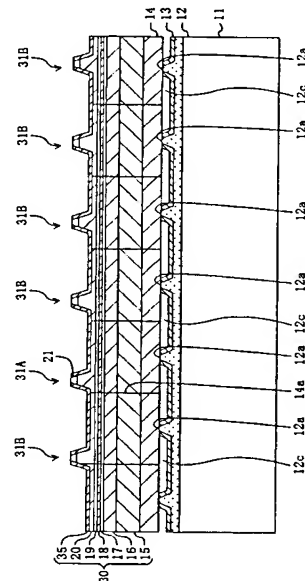
【図 32】



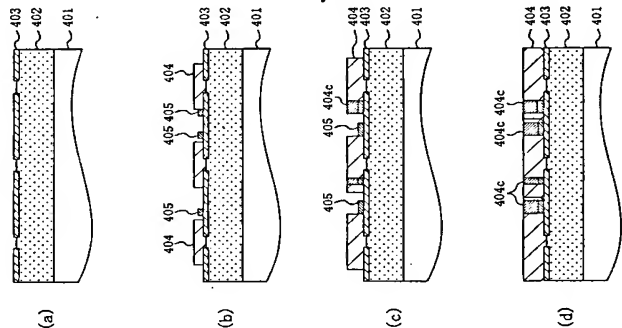
【図 33】



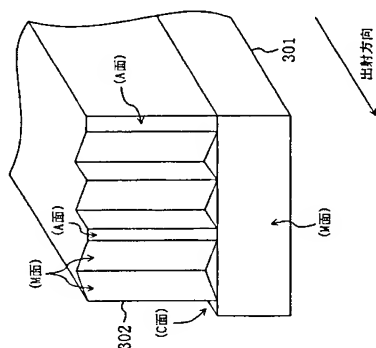
【図 34】



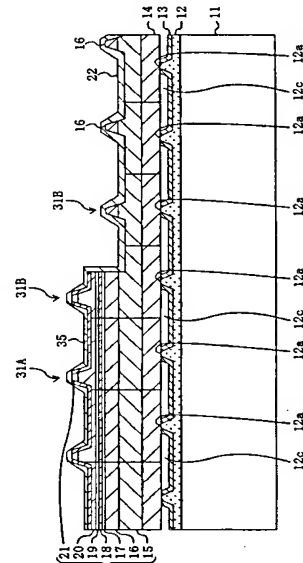
【図40】



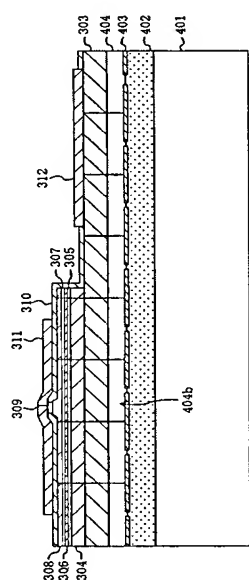
【図43】



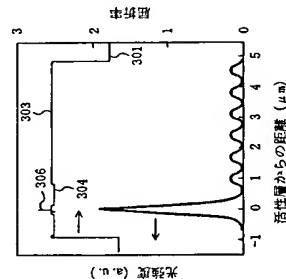
【図35】



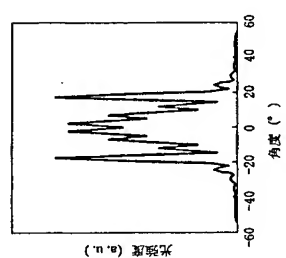
【図39】



【図41】



【図42】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号	特願2000-18407 (P2000-18407)	(72) 発明者	辻村 歩
(32) 優先日	平成12年1月27日 (2000. 1. 27)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-25931 (P2000-25931)	(72) 発明者	伴 雄三郎
(32) 優先日	平成12年2月3日 (2000. 2. 3)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-48824 (P2000-48824)	(72) 発明者	鈴木 政助
(32) 優先日	平成12年2月25日 (2000. 2. 25)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-120760 (P2000-120760)	(72) 発明者	桑 雅博
(32) 優先日	平成12年4月21日 (2000. 4. 21)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-120761 (P2000-120761)	(72) 発明者	宮永 良子
(32) 優先日	平成12年4月21日 (2000. 4. 21)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		産業株式会社内
(72) 発明者	菅原 岳		森田 清之
	大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
	産業株式会社内		産業株式会社内

特開 2002-9004

(45)

(72) 発明者 長谷川 義晃
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA34 CA40
CA46 CA65 CA67 CB02 FF16
5F045 AA04 AA19 AB14 AB17 AB18
AB31 AB32 AC01 AC08 AC12
AC19 AF09 AF12 AF13 BB12
CA10 CA12 DA53 DA54 DB02
DB06
5F073 AA11 AA13 AA45 AA55 AA74
CA07 CB05 CB07 DA05 DA07
DA35 EA29